

PHOTO-DETECTEUR A CONCENTRATION DE CHAMP PROCHE.

5

Le domaine de l'invention est celui des photo-détecteurs et plus précisément des photo-détecteurs dits à puits quantiques, connus sous l'acronyme anglo-saxon QWIP signifiant Quantum Well Infrared Photodetector fonctionnant dans le moyen infra-rouge.

10

Afin d'améliorer les performances des détecteurs, il est nécessaire d'optimiser leur détectivité, c'est-à-dire le rapport entre la réponse du détecteur et le bruit. Lorsque le bruit photonique est négligeable, le bruit total est proportionnel à la racine carrée de l'aire de la zone électriquement active du détecteur. La réponse est, quant à elle, proportionnelle au flux de lumière absorbée. A flux absorbé constant, il faut donc diminuer l'aire de la zone d'absorption pour améliorer la détectivité. De la même façon, le courant d'obscurité est proportionnel à l'aire de la zone active. Dans les systèmes d'imagerie où le courant d'obscurité limite les performances du circuit de lecture, il est donc également important de réduire la taille de l'aire de la zone active pour accroître les performances.

Lorsqu'on utilise un détecteur unique, pour réduire l'aire de la zone active tout en conservant le flux, on peut, par exemple, focaliser la lumière sur un détecteur de taille D avec une lentille de diamètre ϕ largement supérieur à D , on obtient alors une amélioration du rapport signal/bruit d'une quantité égale à $\sqrt{\phi/D}$. Le rapport signal/courant d'obscurité est également amélioré d'un facteur ϕ/D . Cette solution n'est pas applicable en l'état à une matrice de détecteurs.

30

L'objet de l'invention est d'obtenir une concentration de l'énergie lumineuse sur une surface réduite du détecteur en exploitant des phénomènes de localisation du champ proche et les propriétés de certaines ondes de surface appelées plasmons de surface, la localisation étant obtenue au moyen de structures optiques disposées au voisinage de la surface active du détecteur. On améliore ainsi de façon importante la détectivité du détecteur.

35

L'invention s'applique avantageusement aux détecteurs à puits quantiques. En effet, ces détecteurs nécessitent naturellement un réseau de diffraction excitant une onde polarisée de type Transverse Magnétique, permettant l'absorption de l'onde incidente par les puits quantiques. Dans ce cas, il suffit de modifier la structure du réseau pour obtenir à la fois l'absorption et la concentration de l'énergie lumineuse incidente.

Cette invention qui utilise des structures métalliques est bien adaptée au domaine infrarouge. En effet, dans ce domaine spectral, les structures métalliques sont particulièrement efficaces dans la mesure où elles présentent à la fois de faibles pertes et une forte interaction avec le champ électro-magnétique.

Enfin, la concentration du champ peut être effectuée soit dans une dimension de l'espace au moyen d'une structure composée de sillons parallèles, soit dans les deux dimensions de l'espace au moyen d'une structure bidimensionnelle.

Plus précisément, l'invention a pour objet un photo-détecteur comprenant au moins une zone active de détection du rayonnement optique et une structure disposée sur ladite zone active destinée au couplage optique du rayonnement optique, caractérisé en ce que la zone active est de forme allongée et que la dite structure est composée de sillons parallèles entre eux et parallèles à la longueur de la zone active.

Avantageusement, la structure est réalisée dans une couche d'au moins un matériau diélectrique transparent dans la plage spectrale du rayonnement optique, ladite couche comprenant une face inférieure sensiblement plane en contact avec la zone active et une face supérieure comportant les sillons de la structure, ladite face recouverte d'une pellicule de métal, l'épaisseur optique de la dite couche séparant la face inférieure de la face supérieure selon un axe perpendiculaire à la direction des sillons et parallèle au plan de la face inférieure varie comme la superposition au moins d'un premier réseau dit de couplage dont le pas est à une première fréquence spatiale et d'un second réseau dit de localisation dont le pas est à une seconde fréquence spatiale double de la première fréquence spatiale et comportant un défaut spatial central.

Elle a également pour objet un photo-détecteur comprenant au moins une zone active de détection du rayonnement optique et une structure disposée sur ladite zone active destinée au couplage optique du rayonnement optique, caractérisé en ce que ladite structure bidimensionnelle est composée de motifs de dimensions sensiblement identiques, que la zone active est centrée sur ladite structure et que les dimensions de la zone active sont sensiblement égales aux dimensions moyennes des motifs. Avantageusement, lorsque la couche constituant la structure est réalisée dans un matériau diélectrique isotrope, chaque motif est composé de facettes planes de hauteur différente et parallèles entre elles, les dimensions des motifs de la structure sont environ égales à la moitié de la longueur d'onde moyenne du rayonnement incident divisé par l'indice optique moyen de la structure et la zone active est entourée d'une zone optiquement passive de dimensions sensiblement égales à celles de la structure. Avantageusement, la structure est réalisée dans une couche d'au moins un matériau diélectrique transparent dans la plage spectrale du rayonnement optique, ladite couche comprenant une face inférieure sensiblement plane en contact avec la zone active et une face supérieure comportant les motifs de la structure, ladite face recouverte d'une pellicule de métal, l'épaisseur optique de la dite couche séparant la face inférieure de la face supérieure varie :

- selon un premier axe parallèle au plan de la face inférieure, comme au moins un premier réseau dont le pas est à une première fréquence spatiale ;
- selon un second axe perpendiculaire au premier axe et parallèle au plan de la face inférieure, comme au moins un second réseau dont le pas est à la même première fréquence spatiale ;
- selon un troisième axe oblique à 45 degrés des deux précédents, comme au moins un troisième réseau dont le pas est à une seconde fréquence spatiale égale à la moitié de la première fréquence spatiale.

L'invention sera mieux comprise et d'autres avantages apparaîtront à la lecture de la description qui va suivre donnée à titre non limitatif et grâce aux figures annexées parmi lesquelles :

- la figure 1 représente la courbe de dispersion des plasmons de surface dans le cas d'une interface entre deux milieux de permittivité différente ;
- la figure 2 représente la courbe de dispersion des ondes se propageant dans un milieu périodique ;

- la figure 3 représente la distribution du champ électrique et du profil de la permittivité correspondant aux points ω et ω_+ de la figure 2 ;
- 5 • la figure 4 représente la courbe de dispersion des ondes se propageant dans un milieu périodique de longueur L ;
- la figure 5 représente la distribution du champ électrique pour le premier ordre ($\delta=\pi/L$) et le deuxième ordre ($\delta=2\pi/L$) des modes représentés en figure 4 ;
- 10 • la figure 6 représente la distribution du champ électrique et le profil de la permittivité dans le cas d'un milieu périodique comportant un défaut Δx égal à $+\lambda/4$;
- la figure 7 représente la distribution du champ électrique et le profil de la permittivité dans le cas d'un milieu périodique comportant un défaut Δx égal à $-\lambda/4$;
- 15 • la figure 8 représente une vue en coupe d'un détecteur comportant une structure à sillons selon l'invention ;
- la figure 9 représente la distribution du champ électrique et le profil de la structure à sillons dans un premier mode de réalisation selon l'invention ;
- 20 • la figure 10 représente la distribution du champ électrique et le profil de la structure à sillons dans un second mode de réalisation selon l'invention ;
- la figure 11 représente la transformée de Fourier du profil de la structure dans le premier mode de réalisation selon l'invention ;
- 25 • la figure 12 représente la transformée de Fourier du profil de la structure dans le second mode de réalisation selon l'invention ;
- les figures 13 et 14 représentent un profil de structure dans un troisième mode de réalisation selon l'invention et sa transformée de Fourier ;
- 30 • la figure 15 représente deux profils réels de la structure à sillons dans ledit premier mode de réalisation selon l'invention ;
- la figure 16 représente deux profils réels de la structure à sillons dans ledit second mode de réalisation selon l'invention ;
- 35 • la figure 17 représente une vue en coupe de la structure à sillons selon le premier mode de réalisation selon l'invention ;

- la figure 18 représente une vue en coupe de la structure à sillons selon un mode particulier de réalisation selon l'invention,
- la figure 19 représente l'intensité optique relative en fonction de la longueur d'onde pour un profil de structure selon le premier mode de réalisation selon l'invention ;
- la figure 20 représente l'intensité relative en fonction de la distance au centre de la structure selon le premier mode de réalisation ;
- la figure 21 représente l'intensité relative en fonction de la longueur d'onde pour un profil de réseau de Bragg bi-périodique ;
- la figure 22 représente l'intensité relative en fonction du profil de réseau de la figure 21 ;
- la figure 23 représente une vue éclatée d'un détecteur comportant une structure bidimensionnelle selon l'invention ;
- la figure 24 représente une vue de dessus et deux vues en coupe d'une première fonction constituant en partie une structure bidimensionnelle selon l'invention ;
- la figure 25 représente une vue de dessus et deux vues en coupe de la fonction constituant la structure bidimensionnelle selon l'invention.

L'invention repose sur les propriétés des plasmons de surface en interaction avec des réseaux ou des structures de diffraction optiques.

Un plasmon de surface est une onde de surface se propageant à l'interface entre deux milieux dont les permittivités diélectriques sont de signe opposé, la somme des permittivités étant elle-même négative. C'est le cas, par exemple, des interfaces entre un milieu conducteur qui peut être un métal ou un matériau semi-conducteur dopé et un milieu diélectrique. On démontre que les plasmons de surface existent au-dessous de la fréquence de résonance du plasma. Classiquement, une onde optique est définie par la propagation d'un champ électromagnétique caractérisé par une pulsation ω , caractéristique de sa variation temporelle et un vecteur d'onde k caractéristique de sa variation spatiale. On démontre que la pulsation et le vecteur d'onde d'une onde susceptible de se propager à l'interface entre deux milieux de ce type vérifie une des deux courbes de la figure 1 où ω_p

représente respectivement la fréquence de plasma et où k_p vaut ω_p/c avec c vitesse de la lumière. On démontre que les plasmons de surface n'existent qu'au-dessous de la fréquence de résonance du plasma et par conséquent, seule la courbe inférieure est représentative des plasmons de surface.

5

Dans les milieux où l'indice de réfraction est modulé périodiquement, on démontre qu'il existe des plages spectrales où la lumière ne peut pas se propager que l'on appelle « bandes interdites photoniques ». Par exemple, la figure 2 représente une bande interdite dans le cas d'un milieu périodique de pas Λ et dont la variation d'indice est caractérisée par la modulation de la constante diélectrique $\Delta\epsilon(x)$ qui vaut $\Delta\epsilon \cos(2\pi x/\Lambda)$ dans une direction x perpendiculaire aux sillons du réseau de la figure 2. L'abscisse sur la figure 2 représente les vecteurs d'onde k normalisés par rapport au pas Λ du réseau périodique. L'ordonnée représente la pulsation ω normalisée par rapport à une pulsation ω_0 valant $c/2\Lambda$. La bande interdite est comprise entre la branche inférieure et la branche supérieure de la figure 2. Elle est centrée en ω_0 et en k_0 égal à $\Lambda/2$. On appelle ω_+ et ω_- les pulsations correspondant à k_0 prises en limite de bande interdite. On pose ω égale à $\omega_0 - \Delta\omega$ et ω_+ égale à $\omega_0 + \Delta\omega$. La largeur minimale $\Delta\omega$ correspondant à la différence entre ω_+ et ω_- vaut $c\Delta\epsilon/2\Lambda\sqrt{\epsilon}$. En dehors des bandes interdites, les ondes électromagnétiques qui se propagent s'appellent modes de « Bloch » et sont le produit d'un terme strictement périodique et d'un terme de phase dont le vecteur d'onde δ s'annule au bord de la bande interdite. Dans le cas de la figure 2, la distribution des champs E_+ et E_- correspondant aux pulsations ω_+ et ω_- sont proportionnelles respectivement à $\sin(\pi x/\Lambda)e^{\pm i\delta x}$ et $\cos(\pi x/\Lambda)e^{\pm i\delta x}$. Lesdites distributions de E_+ et de E_- sont représentées sur la figure 3 en fonction du paramètre x/λ , la variation de la constante diélectrique est également représentée sur cette même figure.

Les plasmons de surface vérifient également ces propriétés lorsque le milieu dans lequel ils se propagent est modulé périodiquement. Ils prennent alors les propriétés d'ondes de Bloch. Le plasmon se propage suivant l'interface entre le diélectrique et le métal. On peut réaliser la modulation de l'indice optique de deux façons. La première consiste à faire varier périodiquement la permittivité du milieu diélectrique. La deuxième consiste à réaliser une interface métal/diélectrique sous forme de réseau. En

35

particulier, on peut montrer qu'un réseau dont le profil $h(x)$ suit la loi $h_0 \cos(2\pi x/\Lambda)$, h_0 étant une constante, équivaut à une modulation de la permittivité diélectrique $\Delta\epsilon(x)$ égale à $\Delta\epsilon \cos(2\pi x/\Lambda)$ (W. L. Barnes, T. W. Presist, S. C. Kitson, and J. R. Sambles, "Physical Origin of photonic energy gaps in the propagation of surface plasmons on gratings," *Physical Review B*, vol. 54, pp. 6227-6244, 1996.).

Dans un réseau de taille finie, il existe des résonances de type Fabry-Pérot dues à la réflexion des plasmons aux extrémités du réseau. La distribution du champ, toutefois, est différente de celle d'une cavité Fabry-Pérot dans un milieu homogène. Soit L la longueur du réseau et δ un paramètre valant $(k-\pi/\Lambda)$, alors la condition de résonance s'écrit :

$$\delta L = p\pi, \text{ p étant un nombre entier}$$

Cette condition peut être satisfaite à partir de p égal à 1, même si la longueur du réseau L est très supérieure à la longueur d'onde λ de l'onde plasmonique. La figure 4 représente la courbe de dispersion des plasmons de surface pour un réseau de type Fabry-Pérot dans le cas particulier où L est égal à dix fois la longueur d'onde. Sur cette figure 4, le paramètre $k\Lambda$ est en abscisse et le paramètre $(\omega/\omega_0 - 1)$ en ordonnée. Les points noirs correspondent aux valeurs de $k\Lambda$ et de $(\omega/\omega_0 - 1)$ pour différentes valeurs de p . Lorsque p est égal à 1, le champ E est localisé au milieu du réseau comme indiqué sur la figure 5. Dans ce cas, le champ E vaut E_+ pour $\omega_+ = \omega_0 + \Delta\omega$ et est proportionnel à $\sin(\pi x/\Lambda)\sin(\delta x)$ et E_- pour $\omega_+ = \omega_0 - \Delta\omega$ et est proportionnel à $\cos(\pi x/\Lambda)\sin(\delta x)$. Ce phénomène a été prédit pour des plasmons de surface dans des réseaux métalliques (F. Pincemin and J.-J. Greffet, "Propagation and localization of a surface plasmon polariton on a finite grating," *Journal of the Optical Society of America B*, vol. 13, pp. 1499-1509, 1996). Sur la figure 5, le champ E dans le cas où p est égal à 2 a également été représenté en pointillés.

Lorsqu'une structure périodique est perturbée, par exemple, si l'on introduit un défaut qui peut être par exemple un déphasage ou un changement local de l'indice de réfraction, un mode localisé apparaît autour du défaut. L'énergie de ce niveau se situe alors dans la bande interdite. A titre d'exemple, soit une modulation de l'indice décrite par sa variation de permittivité : $\Delta\epsilon(x) = \Delta\epsilon \cos(2\pi(|x| - \Delta x)/\Lambda) = \pm \Delta\epsilon \sin(2\pi|x|/\Lambda)$ en adoptant les

mêmes conventions que précédemment. Dans la limite où $\Delta\epsilon(x)$ est une perturbation, le champ du mode localisé peut s'écrire de la manière suivante :

$$E(x) = \begin{cases} e^{-x} \cos(k(x - \Delta x/2) - \pi/4) & x > 0 \\ e^x \cos(k(x + \Delta x/2) + \pi/4) & x < 0 \end{cases}$$

- 5 Où $k=2\pi n/\lambda=\pi/\Lambda$. Le déphasage Δx peut prendre deux valeurs : $\pm\Lambda/8 = \pm\lambda/4n$ à un multiple de $\Lambda/4$ près, n étant l'indice de réfraction du réseau.

La décroissance du champ est liée au terme γ égal à $k\Delta\epsilon/4\sqrt{\epsilon}$.

On montre que la distribution du champ conserve les propriétés de symétrie. De plus les positions des extrêmes du champ E par rapport au réseau ne
10 changent pas. Sur les figures 6 et 7 sont représentées en pointillés la distribution du champ E et en traits continus le profil de la variation de permittivité en fonction de la direction x perpendiculaire à la direction des sillons du réseau pour deux valeurs du déphasage qui sont respectivement égaux à $+\lambda/4n$ et $-\lambda/4n$.

15

Les plasmons de surface sont situés au-dessous de la « ligne de lumière » comme on le voit sur la figure 1 où elle est figurée par la diagonale en pointillés et ne peuvent pas être excités sans l'aide d'un prisme ou d'un réseau de couplage. Les propriétés des plasmons de surface qui sont excités
20 par un réseau métallique de couplage k_1 égal à $2\pi/\Lambda_1$, Λ_1 étant le pas du réseau et qui interagissent avec un réseau de Bragg de couplage k_2 égal à π/Λ_2 ont été étudiées. (W. L. Barnes, T. W. Presist, S. C. Kitson, and J. R. Sambles, "Physical Origin of photonic energy gaps in the propagation of surface plasmons on gratings," *Physical Review B*, vol. 54, pp. 6227-6244,
25 1996.). Dans ce cas, le profil $h(x)$ du réseau est, en se limitant aux termes du premier ordre de la série de Fourier correspondant au profil du réseau :

$$h(x) = a_1 \cos(2\pi x / \Lambda_1) + a_2 \cos(2\pi x / \Lambda_2 + \Phi).$$

Dans un réseau métallique, c'est la charge de surface générée par l'onde incidente qui dévient la source de l'onde de surface excitée. On trouve
30 alors que la charge $\sigma_s(x)$ est proportionnelle à $a_1 \sin(2\pi x / \Lambda_1)$. Puisque le couplage dépend de la superposition entre la charge et le mode de Bloch, la phase relative ϕ détermine la branche excitée permettant la propagation des

modes de Bloch comme indiqué sur la figure 2. Si ϕ est égal à π , la branche inférieure ω^- est excitée, si ϕ est nul, la branche ω^+ est excitée.

Il est donc possible en cumulant les propriétés des réseaux de couplage et des réseaux de Bragg présentant au moins un défaut d'obtenir à partir d'une onde incidente une onde plasmonique qui soit à la fois couplée et localisée dans une région de dimensions petites par rapport à celles de la structure finale et par conséquent d'améliorer de façon importante la détectivité d'un détecteur comportant une telle structure. Cette disposition peut s'appliquer à des structures de type monodimensionnel, c'est-à-dire dont le profil ne varie que dans une seule direction de l'espace, dans ce cas, l'onde est localisée dans une bande étroite centrale parallèle à la direction des sillons. Elle s'applique également à des structures de type bidimensionnel, c'est-à-dire dont le profil varie dans les deux dimensions de l'espace, dans ce cas, l'onde est localisée au centre du réseau dans une zone de dimensions étroites par rapport aux dimensions du réseau.

Cas des photo-détecteurs à réseau monodimensionnel

20

Dans ce cas, un photo-détecteur 10 selon l'invention comprend essentiellement comme il est indiqué sur la figure 8:

- Un premier substrat 1 support du photo-détecteur transparent au rayonnement optique que l'on cherche à détecter;
- Une première couche 2 conductrice également transparente;
- Une seconde couche 3 composée de la zone active 31 proprement dit qui a la forme d'une bande étroite et de deux zones périphériques 32 inactives à la lumière et disposées de part et d'autre de la zone active, au moins les zones inactives également transparentes ;
- La structure 4 selon l'invention.
- Des zones de contacts électriques 5 permettant de capter le signal électrique issu de la zone active.

25

30

Comme il est indiqué sur la figure 8, la structure 4 selon l'invention comprend essentiellement une couche 41 d'au moins un matériau diélectrique transparent dans la plage spectrale du rayonnement optique, ladite couche 41 comprenant une face inférieure 410 sensiblement plane en contact avec la zone active et une face supérieure 411 comportant les sillons de la structure, ladite face recouverte d'une pellicule de métal 43 représentée en traits gras sur la figure 8. A titre d'exemple non limitatif, le métal est de l'or ou du palladium. L'épaisseur de ladite couche de métal est de quelques nanomètres. L'épaisseur optique de la dite couche séparant la face inférieure de la face supérieure varie, selon un axe perpendiculaire Ox à la direction des sillons et parallèle au plan de la face inférieure, comme la superposition au moins d'un premier réseau dont le pas est à une première fréquence spatiale et d'un second réseau dont le pas est à une seconde fréquence spatiale double de la première fréquence spatiale. Une seconde couche de matériau diélectrique 42 assure la protection de la structure.

Le fonctionnement du photo-détecteur est le suivant. Un faisceau de lumière (flèche épaisse de la figure 8) éclaire le photo-détecteur sous une incidence voisine de la normale. Ce faisceau passe à travers le premier substrat 1, la première couche conductrice 2 et la seconde couche 3 sans atténuations sensibles. Il atteint alors la structure 4. Comme il a été dit, la structure est l'union d'un réseau de couplage, dont le but est l'excitation d'une onde de surface en polarisation transverse magnétique, c'est-à-dire dont le champ électrique est perpendiculaire au réseau, avec un réseau de Bragg avec défaut, afin d'obtenir une localisation du faisceau lumineux capturé par la structure dans une zone centrale correspondant à la zone active 31. On améliore ainsi le rapport signal à bruit, ce qui est le but recherché.

Si l'on définit un axe Ox perpendiculaire à la direction des sillons et parallèle au plan de la face inférieure du réseau 4, la fonction mathématique définissant l'épaisseur optique $R(x)$ de la structure est, à une constante près, la somme de deux fonctions périodiques $g(x, \Lambda)$ et $f(x, 2\Lambda)$, f représentant la fonction de couplage de période spatiale Λ et g représentant la fonction de Bragg de localisation de période spatiale 2Λ comportant un

défaut central. La phase relative entre f et g conditionne les propriétés finales de confinement de l'onde couplée. Si on note λ la longueur d'onde moyenne du rayonnement incident, avantageusement, le pas Λ doit être environ égal à $\lambda/2n$ pour obtenir un couplage optimal de l'onde d'incidence.

5 On démontre qu'il existe deux familles de profils de structures possibles, l'une excitant un mode anti-symétrique et l'autre un mode symétrique.

Dans le cas du mode anti-symétrique, les fonctions f_{AS} et g_{AS} sont alors sous la forme :

$$\begin{aligned} f_{AS}(x) &= \pm a_1 \cos(2\pi x / \Lambda) \\ 10 \quad g_{AS}(x) &= -a_2 \cos(4\pi |x| / \Lambda - \pi / 2) \end{aligned}$$

a_1 et a_2 sont deux constantes positives.

Autrement dit, l'épaisseur $R(x)$ de la couche séparant la face inférieure de la face supérieure varie à une constante près, selon un axe perpendiculaire à la direction des sillons, parallèle au plan de la face inférieure et dont l'origine est centrée sur le centre de la structure, comme une fonction qui est la somme ou la

15 différence :

- d'une première fonction proportionnelle à la fonction signe de la fonction cosinus de la distance à l'origine dudit axe et de période égale à celle du pas des sillons ;
- 20 • d'une seconde fonction proportionnelle à la fonction signe de la fonction cosinus de la valeur absolue de la distance à l'origine dudit axe, de période égale à la moitié de celle du pas des sillons, ladite seconde fonction déphasée d'une demi-période par rapport à la première fonction.

25 Avantageusement, le coefficient de proportionnalité de la première fonction est le double de celui de la deuxième fonction et le pas du premier réseau de la structure est environ égal à la moitié de la longueur d'onde moyenne du rayonnement incident divisé par l'indice optique moyen de la structure.

Dans ce cas, on démontre que l'amplitude complexe $E(x)$ de l'onde couplée vaut $e^{-\gamma|x|} \sin(2\pi x / \lambda)$ correspondant à un mode localisé. γ est une constante de décroissance du champ dépendant des paramètres du réseau. Le champ électrique $E(x)$ et le profil R_M de la structure monodimensionnelle dans ce mode de réalisation anti-symétrique sont représentés en fonction de x/Λ pour a_2 égal à la moitié de a_1 sur la figure 9.

30

35 Dans le cas du mode symétrique, les fonctions f_S et g_S sont alors sous la forme :

$$f_S(x) = \pm a_1 \sin(2\pi x / \Lambda)$$

$$g_s(x) = a_2 \cos(4\pi |x|/\Lambda - \pi/2)$$

a_1 et a_2 sont deux constantes positives.

Autrement dit, l'épaisseur optique de la couche séparant la face inférieure de la face supérieure varie, selon un axe perpendiculaire à la direction des sillons, parallèle au plan de la face inférieure et dont l'origine est centrée sur le centre de la structure, comme une fonction qui est la somme ou la différence :

- d'une première fonction proportionnelle à la fonction signe de la fonction sinus de la distance à l'origine dudit axe et de période égale à celle du pas des sillons ;
- d'une seconde fonction proportionnelle à la fonction signe de la fonction cosinus de la valeur absolue de la distance à l'origine dudit axe, de période égale à la moitié de celle du pas des sillons, ladite seconde fonction déphasée d'une demi-période par rapport à la première fonction.

Dans ce cas, on démontre que l'amplitude complexe $E(x)$ de l'onde couplée vaut $e^{-\gamma|x|} \cos(2\pi x/\lambda)$ correspondant à un mode localisé. γ est une constante de décroissance du champ dépendant des paramètres du réseau. Le champ électrique $E(x)$ et le profil R_M de la structure monodimensionnelle dans ce mode de réalisation anti-symétrique sont représentés en fonction de x/Λ pour a_2 égal à la moitié de a_1 sur la figure 10. Le choix du poids respectif des fonctions f et g est déterminé par l'optimisation du champ proche qui dépend de l'application envisagée. Il n'y a aucune restriction précise sur la profondeur de couplage, ni sur le poids relatif des deux fonctions.

Technologiquement, les réseaux de couplage utilisés dans les détecteurs infrarouges sont réalisés par gravure de la couche puis dépôt métallique. La réalisation technique des profils de structure selon des fonctions continues de type f et g posent des problèmes de réalisation complexes sans procurer d'avantages significatifs au niveau des rendements lumineux. Les propriétés de couplage et de localisation de la structure sont déterminées par la transformée de Fourier de la fonction représentative de l'épaisseur optique de la structure pour une valeur de k comprise dans la plage $[-4\pi/\Lambda, +4\pi/\Lambda]$. Les figures 11 et 12 représentent les transformées de

Fourier $H(k)$ en fonction de $k\Lambda/2\pi$ des modes antisymétriques et symétriques tels qu'ils sont définis précédemment. Les courbes pleines représentent les parties réelles des transformées de Fourier et les courbes en pointillés représentent les parties imaginaires desdites transformées de Fourier. Dans le cas du mode anti-symétrique de la figure 11, on obtient au voisinage des valeurs de $k\Lambda/2\pi$ égales à $+1$ et à -1 deux pics réels et symétriques et au voisinage des valeurs de $k\Lambda/2\pi$ égales à $+2$ et à -2 deux doubles pics, chacun antisymétrique et réel et symétriques par rapport à l'origine. Dans le cas du mode symétrique de la figure 12, on obtient au voisinage des valeurs de $k\Lambda/2\pi$ égales à $+1$ et à -1 deux pics imaginaires purs de signe opposé et deux doubles pics réels au voisinage des valeurs de $k\Lambda/2\pi$ égales à $+2$ et à -2 . Si l'on choisit un profil très différent des profils sinusoïdaux mais comportant les mêmes fréquences fondamentales, alors les fonctions fondamentales de couplage et de localisation sont assurées. En figures 13 et 14, un profil de structure de type « blazé » R_B est représenté avec sa transformée de Fourier. Les réseaux blazés sont utilisés pour maximiser la diffraction des ondes lumineuses dans un seul ordre et ont généralement un profil caractéristique en dent de scie. On note que la transformée de Fourier représentée en figure 14 est très voisine de la transformée de Fourier représentée en figure 11. On en déduit que les propriétés de couplage et de confinement de ce profil sont équivalentes à celles de la structure monodimensionnelle excitant le mode anti-symétrique représenté en figure 9, bien que les profils initiaux soient sensiblement différents.

Technologiquement, les structures simples à réaliser sont constituées de « marches d'escalier » ou de facettes obtenues par l'empilement de couches successives. On peut ainsi obtenir le profil souhaité en deux ou en trois étapes de gravure. Ce type de profil a des propriétés équivalentes à celles des réseaux sinusoïdaux à condition, bien entendu, qu'il comporte deux fréquences spatiales fondamentales, l'une étant la double de l'autre. Mathématiquement, pour obtenir ce type de profil, on peut remplacer les fonctions f et g par les fonctions $\text{signe}(f)$ et $\text{signe}(g)$ qui vérifient les propriétés suivantes :

- quand la fonction est positive, la fonction signe vaut $+1$
- quand elle est négative, elle vaut -1 .

Ainsi, les figures 15 et 16 représentent pour les modes anti-symétrique et symétrique les profils suivantes :

$$\begin{aligned}
 R_{1AS}(x) &= \text{signe}(f_{AS}) + \text{signe}\left(\frac{g_{AS}}{2}\right) \\
 R_{2AS}(x) &= \frac{\text{signe}(f_{AS}) + \text{signe}(g_{AS})}{2} \\
 R_{1S}(x) &= \text{signe}(f_S) + \text{signe}\left(\frac{g_S}{2}\right) \\
 R_{2S}(x) &= \frac{\text{signe}(f_S) + \text{signe}(g_S)}{2}
 \end{aligned}$$

La réalisation technologique de ce type de structure peut se faire de deux façons différentes.

Dans un premier mode de réalisation illustré en figure 17, la couche 41 constituant la structure est réalisée dans un matériau diélectrique isotrope, le profil de chaque sillon selon l'axe perpendiculaire à la direction des sillons est composé de facettes planes de hauteur différente et parallèles entre elles selon un profil du type de ceux des figures 15 et 16. Elle est surmontée d'une couche protectrice 42.

Dans un second mode de réalisation illustré en figure 18, la couche 41 constituant la structure est réalisée dans un matériau composé de couches alternées 412 et 413 parallèles entre elles et de même épaisseur et d'une couche centrale d'épaisseur double correspondant au défaut, lesdites couches comprenant alternativement un premier matériau ayant une première permittivité et un second matériau ayant une seconde permittivité, le plan des couches étant perpendiculaire au plan de la face inférieure et le profil de chaque sillon selon l'axe perpendiculaire à la direction des sillons est composé de créneaux réguliers d'un pas deux fois supérieur à l'épaisseur des couches. Cette disposition permet de simplifier notablement le profil de la face supérieure du réseau qui ne comporte plus alors que deux hauteurs différentes. Le faisceau incident est représenté par une flèche épaisse sur ces deux figures 17 et 18.

A titre d'exemple, soit une structure métallique du type de celui représenté en figure 17, sa période Λ est de 2.8 microns dans l'air. Le métal de la pellicule qui recouvre la structure est considéré comme étant parfait, c'est-à-dire avec une permittivité infinie. Cette structure est éclairée en incidence normale par une onde plane. La distribution du champ proche

excité par la structure est calculée par la méthode des éléments finis. La distributions spatiale de la composante de l'intensité moyenne du champ électrique au-dessous de la structure suivant une direction perpendiculaire au plan moyen du réseau est représentée en figure 20. Le champ proche
5 devient très intense lorsque la longueur d'onde λ de l'onde plane est proche de $\Lambda.n$, ce qui est une propriété générale des réseaux réfléchissants. Le champ proche est localisé au milieu du réseau, correspondant à x nul. Au moins 60 pour cent de l'énergie du champ proche est localisée à moins de 10 microns du milieu de la structure, correspondent à une augmentation de
10 l'intensité du champ d'un facteur 3 par rapport à une structure périodique classique. La distributions spectrale de la composante de l'intensité moyenne du champ électrique au-dessous du réseau suivant la longueur d'onde est représentée en figure 19. La largeur spectrale est égale à mi-hauteur de l'intensité à 0.14 micron.

15 Il est à noter que lorsque la structure ne comporte pas de défaut central, ses propriétés de confinement en sont altérées. Pour comparaison, les figures 21 et 22 présentent des distributions similaires, mais dans le cas de localisation due aux effets de taille finie dans le cas d'un réseau bi-périodique ne présentant pas de défaut central. La localisation spatiale existe
20 mais sur une largeur deux fois plus grande par rapport au cas précédent. De plus, la distribution spectrale s'affine, la largeur spectrale est égale à mi-hauteur de l'intensité à 0.12 micron comme indiqué sur la figure 21.

25

Cas des photo-détecteurs à structure bidimensionnelle

Dans ce cas, un photo-détecteur 10 selon l'invention comprend essentiellement comme il est indiqué sur la vue éclatée de la figure 23:

- 30
- Un premier substrat 1 support du photodétecteur transparent au rayonnement optique que l'on cherche à détecter;
 - Une première couche 2 conductrice également transparente;
 - Une seconde couche 3 composée de la zone active 31 proprement dit qui a la forme d'une zone centrale de petites
35 dimensions entourée d'une zone périphérique inactive 32 à la

lumière et disposée autour de la zone active, au moins les zones inactives étant également transparentes ;

- La structure bidimensionnelle 4 selon l'invention ;
- Des zones de contacts électriques 5 permettant de capter le signal électrique issu de la zone de contact .

5

La structure bidimensionnelle est composée de motifs de dimensions sensiblement identiques, la zone active 31 est centrée sur la structure et les dimensions de la zone active sont sensiblement égales aux dimensions moyennes des motifs.

10

La structure est réalisée dans une couche d'au moins un matériau diélectrique 41 transparent dans la plage spectrale du rayonnement optique, ladite couche comprenant une face inférieure 410 sensiblement plane en contact avec la zone active et une face supérieure 411 comportant les motifs de la structure, ladite face recouverte d'une pellicule de métal 43, l'épaisseur optique de la dite couche séparant la face inférieure de la face supérieure varie :

15

- selon un premier axe parallèle au plan de la face inférieure, comme au moins d'un premier réseau dont le pas est à une première fréquence spatiale ;
- selon un second axe perpendiculaire au premier axe et parallèle au plan de la face inférieure, comme au moins d'un premier réseau dont le pas est à la même première fréquence spatiale ;
- selon un troisième axe oblique à 45 degrés des deux précédents, comme au moins un troisième réseau dont le pas est à une seconde fréquence spatiale égale à la moitié de la première fréquence spatiale.

20

25

Le fonctionnement du photo-détecteur est le suivant. Un faisceau de lumière (flèche épaisse de la figure 23) éclaire le photo-détecteur sous une incidence voisine de la normale. Ce faisceau passe à travers le premier substrat 1, la première couche 2 conductrice et la seconde couche 3 sans atténuations sensibles. Il atteint alors la structure bidimensionnelle 4. Comme il a été dit, ladite structure est l'union d'un réseau de couplage, dont le but est l'excitation d'une onde de surface en polarisation transverse magnétique,

30

35

c'est-à-dire dont le champ électrique est perpendiculaire au réseau, avec un réseau de Bragg avec défaut, afin d'obtenir une localisation du faisceau lumineux capturé par la structure dans une zone centrale 31 correspondant à la zone active. On améliore ainsi le rapport signal à bruit, ce qui est le but
5 recherché.

Selon les deux axes Ox et Oy perpendiculaires entre eux et parallèles au plan de la face inférieure, la fonction mathématique définissant l'épaisseur optique de la structure est la somme de deux fonctions
10 périodiques $g(x, y)$ et $f(x, y)$, f représentant la fonction de couplage de période spatiale Λ et g représentant la fonction de Bragg de localisation de période spatiale 2Λ comportant un défaut central. La phase relative entre f et g conditionne les propriétés finales de confinement de l'onde couplée. Si on note λ la longueur d'onde moyenne du rayonnement incident,
15 avantageusement, le pas Λ doit être égal à $\lambda/2n$ pour obtenir un couplage optimal de l'onde d'incidence.

Les fonctions périodiques les plus simples sont les fonctions trigonométriques sinus et cosinus. Dans ce cas, les fonctions f et g peuvent être définies de la manière suivante :

$$\begin{aligned} 20 \quad f(x, y) &= \pm a_1 \sin\left(\frac{2\pi}{\Lambda}(x - y)\right) \\ \text{et } g(x, y) &= -a_2 \left[\cos\left(\frac{4\pi}{\Lambda}|x| \pm \frac{\pi}{2}\right) + \cos\left(\frac{4\pi}{\Lambda}|y| \pm \frac{\pi}{2}\right) \right] \end{aligned}$$

Les constantes a_1 et a_2 sont positives, les signes + ou - placés devant a_1 sont liés à deux implémentations possibles de la structure. Comme il a été dit pour les structures monodimensionnelles, toutes fonctions \tilde{f} et \tilde{g} ayant le
25 même contenu spectral à l'ordre $1/\Lambda$ et à l'ordre $2/\Lambda$ que les fonctions f et g auront des caractéristiques de couplage et de confinement voisines.

Technologiquement, les structures simples à réaliser sont constituées de « marches d'escalier » ou de facettes obtenues par l'empilement de couches successives. Mathématiquement, pour obtenir ce
30 type de profil $s(x, y)$, on peut également remplacer les fonctions f et g par les fonctions $\text{signe}(f)$ et $\text{signe}(g)$. Ainsi, les figures 24 et 25 représentent en vue de dessus et les vues en coupe des fonctions :

$$\tilde{g}(x, y) = -a_2 \left[\text{signe} \left(\cos \left(\frac{4\pi}{\Lambda} |x| + \frac{\pi}{2} \right) \right) + \text{signe} \left(\cos \left(\frac{4\pi}{\Lambda} |y| + \frac{\pi}{2} \right) \right) \right]$$

$$\tilde{s}(x, y) = \tilde{f}(x, y) + \tilde{g}(x, y) = a_1 \left[\text{signe} \left(\cos \left(\frac{2\pi}{\Lambda} (x - y) \right) \right) \right] + \tilde{g}(x, y)$$

Autrement dit, l'épaisseur optique de la structure séparant la face inférieure de la face supérieure selon deux axes perpendiculaires entre eux, parallèles au plan de la face inférieure et dont l'origine commune est centrée sur le centre du réseau varie selon une fonction qui est la somme ou la différence :

- d'une première fonction proportionnelle à la fonction signe d'une première fonction cosinus de la valeur absolue de la distance à l'origine proportionnelle à la fonction signe de la fonction cosinus premier axe, ladite première fonction cosinus étant déphasée de plus ou moins 90 degrés par rapport à l'origine ;
- d'une seconde fonction proportionnelle à la fonction signe de la fonction cosinus de la valeur absolue de la distance à l'origine selon l'axe perpendiculaire audit premier axe, de période identique à celle de la première fonction, ladite seconde fonction cosinus étant déphasée de plus ou moins 90 degrés par rapport à l'origine ;
- d'une troisième fonction proportionnelle à la fonction signe de la fonction sinus de la différence des distances à l'origine selon le premier axe et le second axe.

Sur la vue de dessus de la fonction $\tilde{g}(x, y)$ représentée en figure 24, les différences de niveau entre les marches d'escalier sont représentées par des niveaux de gris de plus en plus clairs au fur et à mesure que le niveau est élevé. Le profil de la fonction selon deux coupes AA et BB est représenté sous la vue de dessus.

Sur la vue de dessus de la fonction $\tilde{s}(x, y)$ représentée en figure 25, les différences de niveau entre les marches d'escalier sont représentées par des niveaux de gris de plus en plus clair au fur et à mesure que le niveau est élevé. Le profil de la structure selon deux coupes CC et BB est représentée sous la vue de dessus.

Cette invention s'applique avantageusement aux détecteurs de type QWIPs (Quantum Well Infrared Photodetector), les structures métalliques selon l'invention sont appliquées au-dessus de la zone active de ces composants. La zone active est placée le plus près possible de la structure et en correspondance avec le défaut de ladite structure.

L'invention s'applique également à des détecteurs d'autre type, comme par exemple les photodétecteurs ou photoconducteurs inter-bande basés sur les familles de matériaux de type GaSb (Antimoniure de Gallium) ou HgCdTe (Mercure Cadmium Tellure).

La zone active du composant doit être limitée à une petite région au-dessous du défaut. La limitation de la zone active peut impliquer :

- la neutralisation des puits quantiques par implantation ;
- la limitation du courant par neutralisation du dopage dans la couche contact dans le cas de systèmes photoconducteurs.

Les structures selon l'invention peuvent être utilisées dans d'autres domaines spectraux comme les micro-ondes dont les fréquences sont de l'ordre du gigahertz, comme le domaine de l'infrarouge lointain dont les fréquences sont de l'ordre du térahertz ou le domaine du proche infrarouge.

L'invention s'applique également aux matrices photosensibles comprenant une pluralité de photo-détecteurs selon l'invention organisés en lignes et en colonnes.

REVENDICATIONS

5 1. Photo-détecteur (10) comprenant au moins une zone active (31) de détection du rayonnement optique et une structure (4) disposée sur ladite zone active (31) destinée au couplage optique du rayonnement optique, caractérisé en ce que ladite structure cumule les propriétés des réseaux de couplage et des réseaux de Bragg et présente au moins un défaut, 10 permettant d'obtenir, à partir d'une onde incidente, une onde plasmonique qui soit à la fois couplée et localisée dans la zone active, ladite zone active étant de dimensions petites par rapport à celles de ladite structure.

 2. Photo-détecteur (10) selon la revendication 1, caractérisé en ce 15 que la zone active est de forme allongée et que ladite structure est composée de sillons parallèles entre eux et parallèles à la longueur de la zone active (31).

 3. Photo-détecteur (10) selon la revendication 2, caractérisé en ce 20 que la structure (4) est réalisée dans une couche (41) d'au moins un matériau diélectrique transparent dans la plage spectrale du rayonnement optique, ladite couche comprenant une face inférieure (410) sensiblement plane en contact avec la zone active et une face supérieure (411) comportant les sillons de la structure, ladite face recouverte d'une pellicule de métal (43), 25 et que l'épaisseur optique de la dite couche séparant la face inférieure de la face supérieure selon un axe (Ox) perpendiculaire à la direction des sillons et parallèle au plan de la face inférieure (410) varie comme la superposition au moins d'un premier réseau dit de couplage dont le pas est à une première fréquence spatiale et d'un second réseau dit de localisation dont le pas est à 30 une seconde fréquence spatiale double de la première fréquence spatiale et comportant un défaut spatial central.

 4. Photo-détecteur (10) selon la revendication 3, caractérisé en ce que la couche (41) constituant la structure est réalisée dans un matériau 35 diélectrique isotrope et que le profil de chaque sillon selon l'axe

perpendiculaire à la direction des sillons est composé de facettes planes de hauteur différente et parallèles entre elles.

5 5. Photo-détecteur (10) selon la revendication 3, caractérisé en ce que la couche (41) constituant la structure est réalisée dans un matériau composé de couches alternées (412, 413) parallèles entre elles et de même épaisseur et d'une couche centrale d'épaisseur double, lesdites couches comprenant alternativement un premier matériau ayant une première permittivité et un second matériau ayant une seconde permittivité, le plan des
10 couches étant perpendiculaire au plan de la face inférieure et que le profil de chaque sillon selon l'axe perpendiculaire à la direction des sillons est composé de crêneaux réguliers d'un pas deux fois supérieur à l'épaisseur des couches alternées.

15 6. Photo-détecteur (10) selon l'une des revendications 3 à 5, caractérisé en ce que l'épaisseur optique de la dite couche (41) séparant la face inférieure de la face supérieure varie, selon un axe (Ox) perpendiculaire à la direction des sillons, parallèle au plan de la face inférieure et dont l'origine est centrée sur le centre du réseau, comme une fonction qui est la
20 somme ou la différence :

- d'une première fonction proportionnelle à la fonction signe de la fonction cosinus de la distance à l'origine dudit axe et de période égale à celle du pas des sillons ;
- d'une seconde fonction proportionnelle à la fonction signe de la
25 fonction cosinus de la valeur absolue de la distance à l'origine dudit axe, de période égale à la moitié de celle du pas des sillons, ladite seconde fonction déphasée d'une demi-période par rapport à la première fonction.

30 7. Photo-détecteur (10) selon l'une des revendications 3 à 5, caractérisé en ce que l'épaisseur optique de la dite couche (41) séparant la face inférieure de la face supérieure varie, selon un axe (Ox) perpendiculaire à la direction des sillons, parallèle au plan de la face inférieure et dont l'origine est centrée sur le centre du réseau ,comme une fonction qui est la
35 somme ou la différence :

- d'une première fonction proportionnelle à la fonction signe de la fonction sinus de la distance à l'origine dudit axe et de période égale à celle du pas des sillons ;
 - d'une seconde fonction proportionnelle à la fonction signe de la fonction cosinus de la valeur absolue de la distance à l'origine dudit axe, de période égale à la moitié de celle du pas des sillons, ladite seconde fonction déphasée d'une demi-période par rapport à la première fonction.
- 5
- 10 8. Photo-détecteur (10) selon l'une des revendications 6 ou 7, caractérisé en ce que le coefficient de proportionnalité de la première fonction est le double de celui de la deuxième fonction.
- 15 9. Photo-détecteur (10) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le pas du premier réseau de la structure est environ égal à la moitié de la longueur d'onde moyenne du rayonnement incident divisé par l'indice optique moyen de la structure.
- 20 10. Photo-détecteur (10) selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite structure bidimensionnelle (4) est composée de motifs de dimensions sensiblement identiques, que la zone active (31) est centrée sur ladite structure et que les dimensions de la zone active sont sensiblement égales aux dimensions moyennes des motifs.
- 25 11. Photo-détecteur (10) selon la revendication 10, caractérisé en ce que la structure (4) est réalisée dans une couche (41) d'au moins un matériau diélectrique transparent dans la plage spectrale du rayonnement optique, ladite couche comprenant une face inférieure (410) sensiblement plane en contact avec la zone active et une face supérieure (411) comportant
- 30 les motifs de la structure, ladite face recouverte d'une pellicule de métal (43), l'épaisseur optique de la dite couche séparant la face inférieure de la face supérieure varie :
- selon un premier axe parallèle au plan de la face inférieure, comme au moins un premier réseau dont le pas est à une
- 35 première fréquence spatiale ;

- selon un second axe perpendiculaire au premier axe et parallèle au plan de la face inférieure, comme au moins un second réseau dont le pas est à la même première fréquence spatiale ;
 - 5 • selon un troisième axe oblique à 45 degrés des deux précédents, comme au moins un troisième réseau dont le pas est à une seconde fréquence spatiale égale à la moitié de la première fréquence spatiale.
- 10 12. Photo-détecteur (10) selon la revendication 11, caractérisé en ce que, lorsque la couche (41) constituant la structure est réalisée dans un matériau diélectrique isotrope, chaque motif est composé de facettes planes de hauteur différente et parallèles entre elles.
- 15 13. Photo-détecteur (10) selon l'une des revendications 11 ou 12, caractérisé en ce que l'épaisseur optique de la dite structure (4) séparant la face inférieure de la face supérieure varie, selon deux axes perpendiculaires entre eux, parallèles au plan de la face inférieure et dont l'origine commune est centrée sur le centre de la structure, comme une fonction qui est la
- 20 somme ou la différence :
- d'une première fonction proportionnelle à la fonction signe d'une première fonction cosinus de la valeur absolue de la distance à l'origine proportionnelle à la fonction signe de la fonction cosinus premier axe, ladite première fonction cosinus
 - 25 étant déphasée de plus ou moins 90 degrés par rapport à l'origine ;
 - d'une seconde fonction proportionnelle à la fonction signe de la fonction cosinus de la valeur absolue de la distance à l'origine selon l'axe perpendiculaire audit premier axe, de période
 - 30 identique à celle de la première fonction, ladite seconde fonction cosinus étant déphasée de plus ou moins 90 degrés par rapport à l'origine ;
 - d'une troisième fonction proportionnelle à la fonction signe de la fonction sinus de la différence des distances à l'origine selon
 - 35 le premier axe et le second axe.

14. Photo-détecteur (10) selon l'une des revendications 10 à 13 ,
caractérisé en ce que les dimensions des motifs de la structure sont environ
égales à la moitié de la longueur d'onde moyenne du rayonnement incident
5 divisé par l'indice optique moyen de la structure.

15. Photo-détecteur (10) selon l'une des revendications
précédentes, caractérisé en ce que la zone active (31) est entourée d'une
zone optiquement passive (32) de dimensions sensiblement égales à celles
10 de la structure (4).

16. Photo-détecteur (10) selon la revendication 15, caractérisé en
ce que la zone active (31) est une structure à puits quantiques.

15 17. Matrice photosensible comprenant une pluralité de photo-
détecteurs organisés en lignes et en colonnes, caractérisée en ce que lesdits
photo-détecteurs sont selon l'une des revendications précédentes.

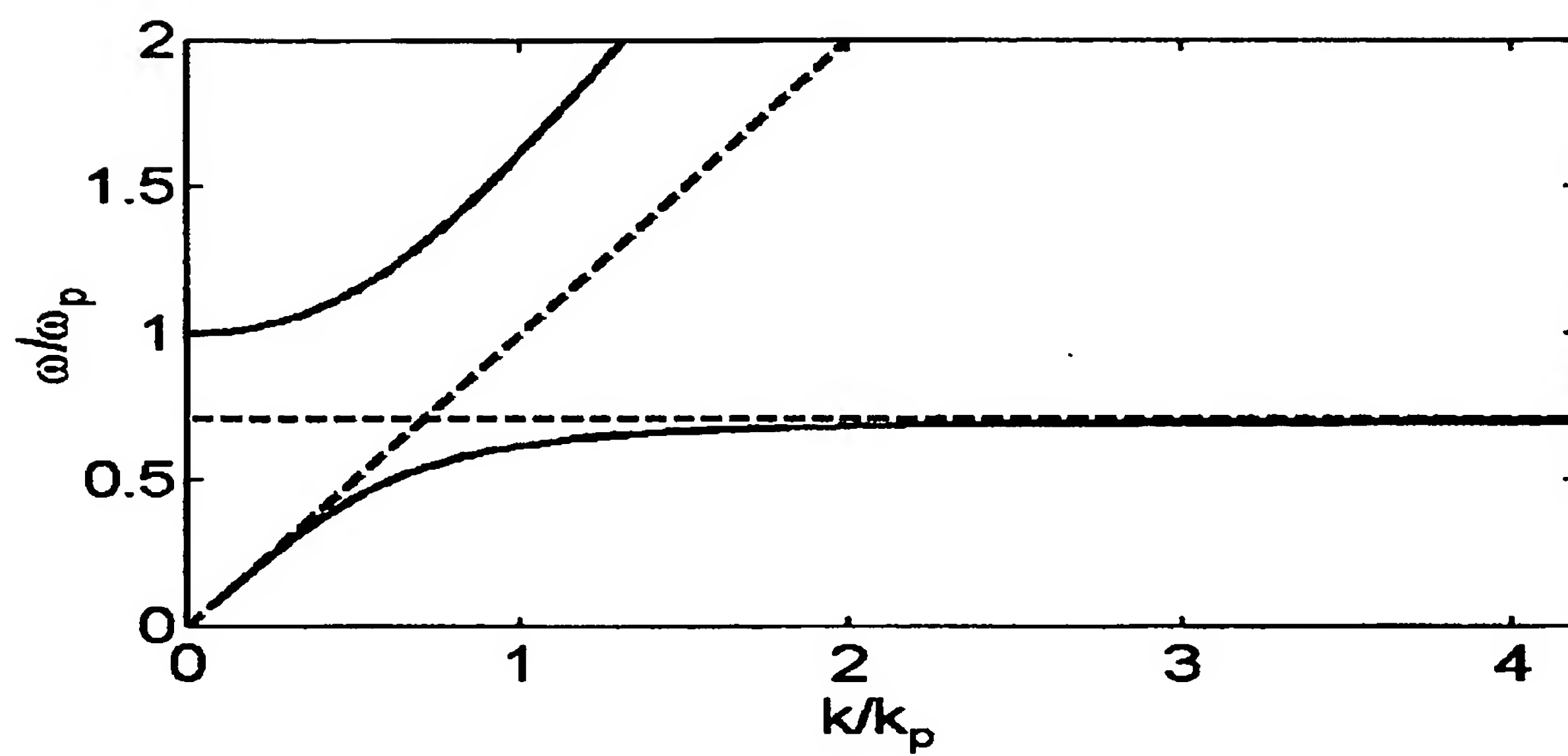


FIG.1

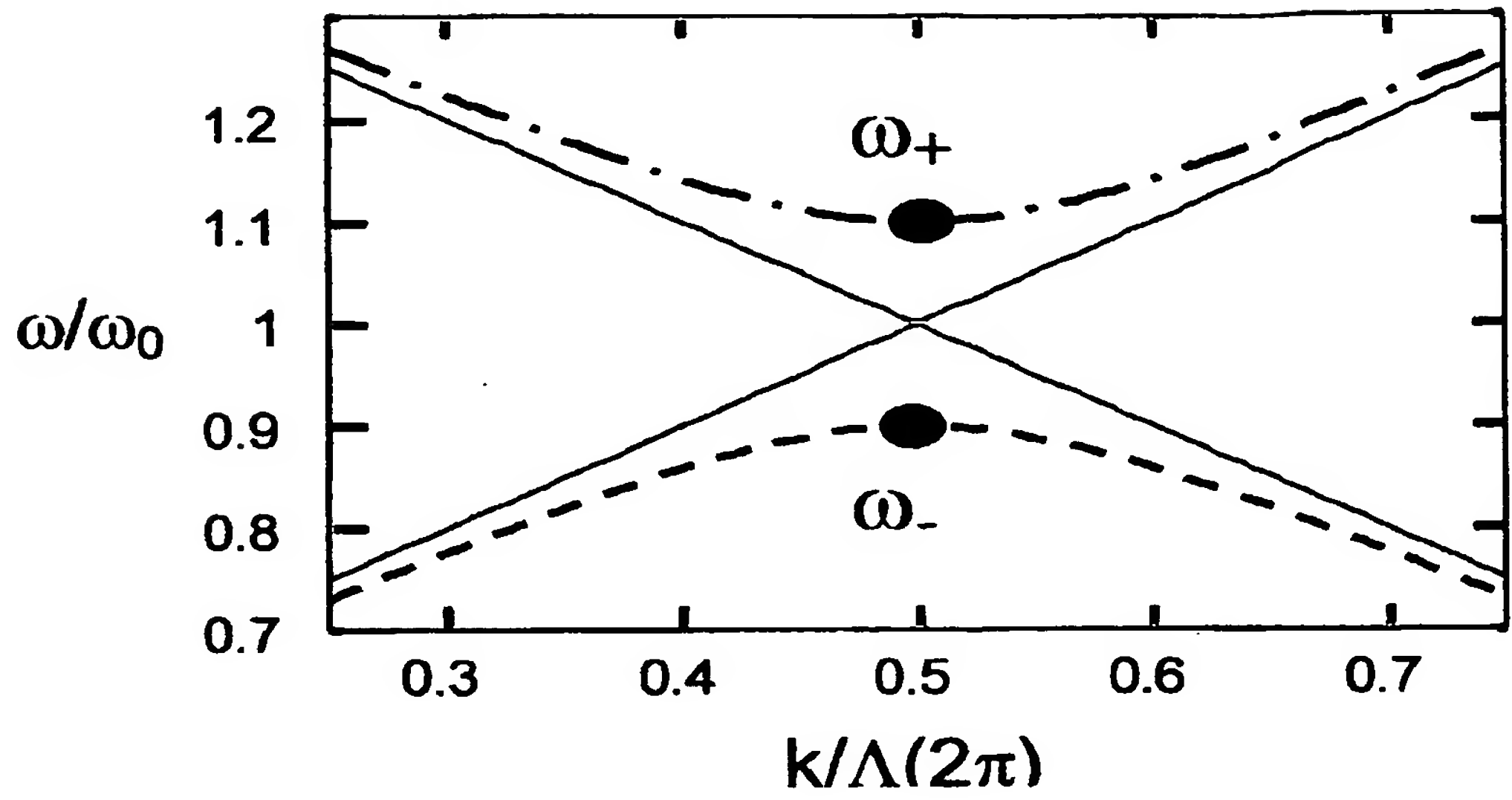


FIG.2

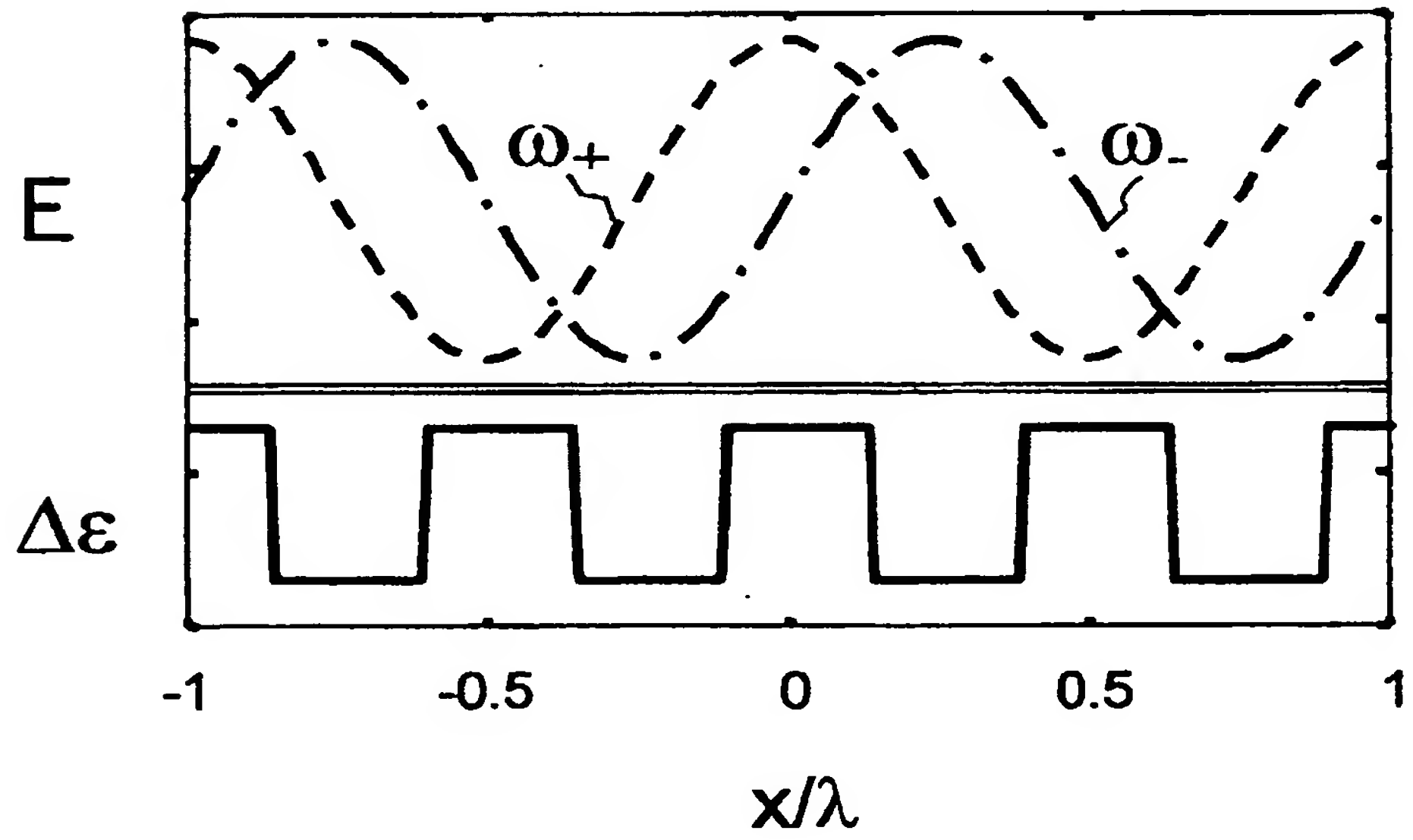


FIG.3

3/15

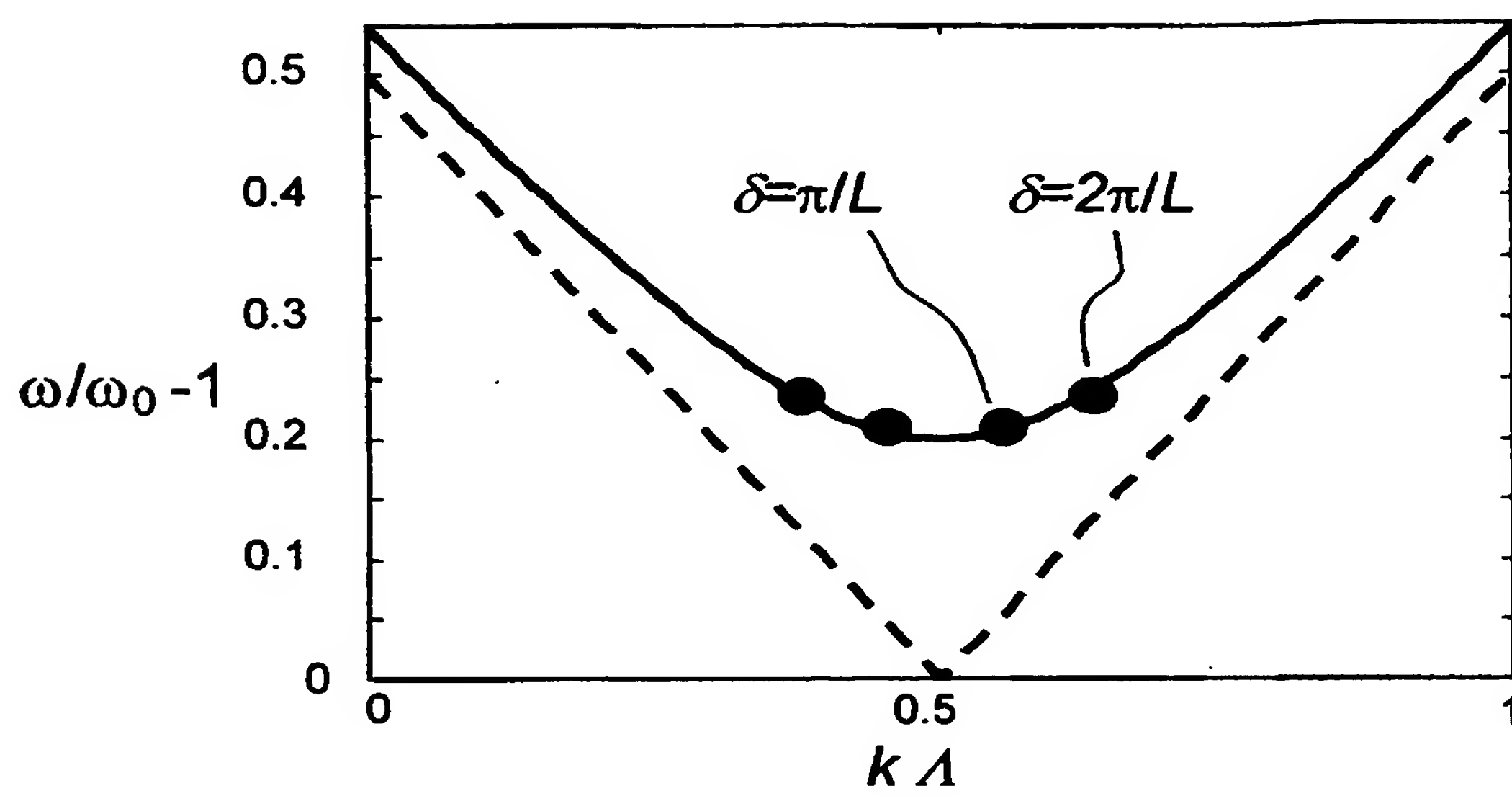


FIG. 4

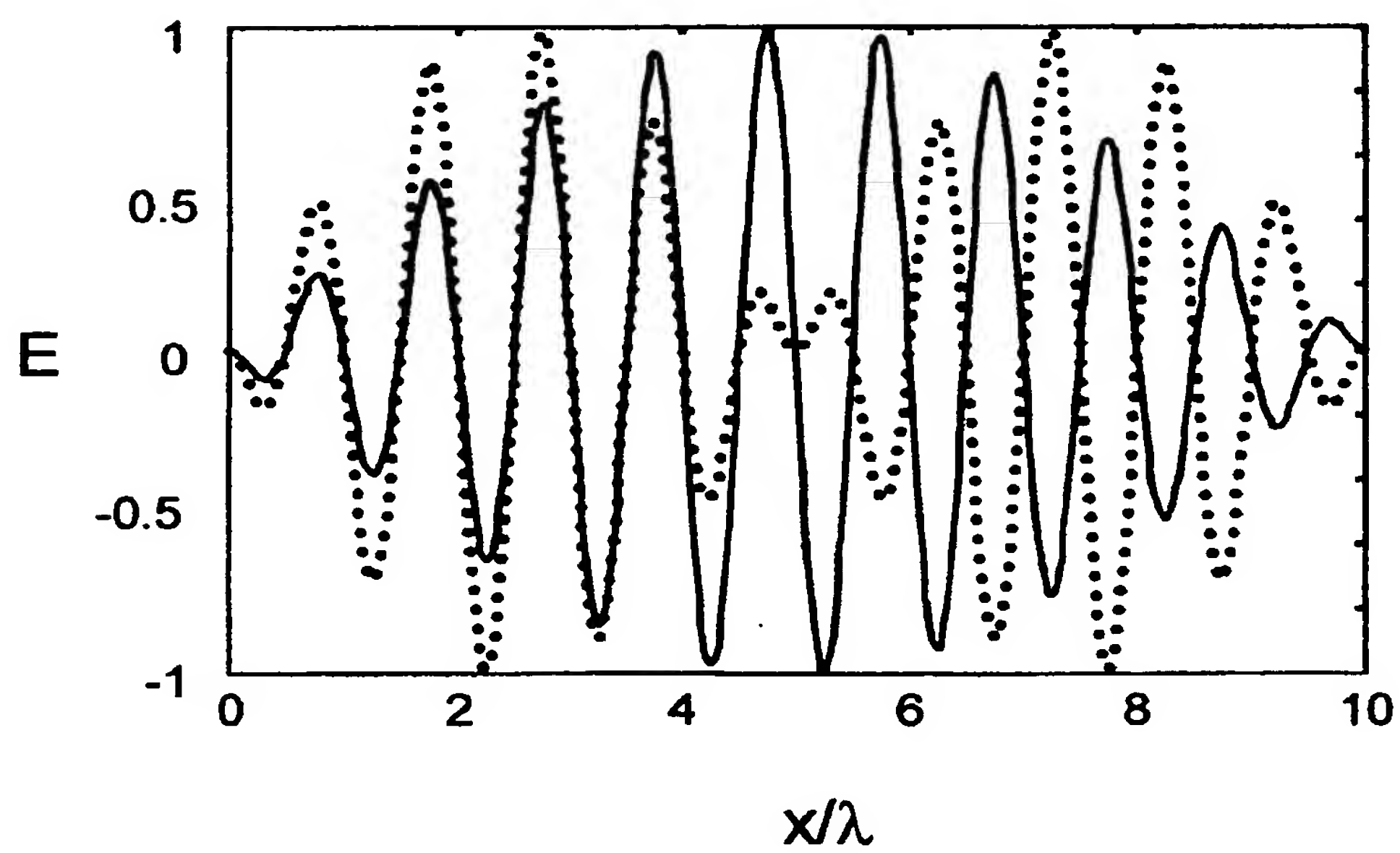


FIG. 5

4/15

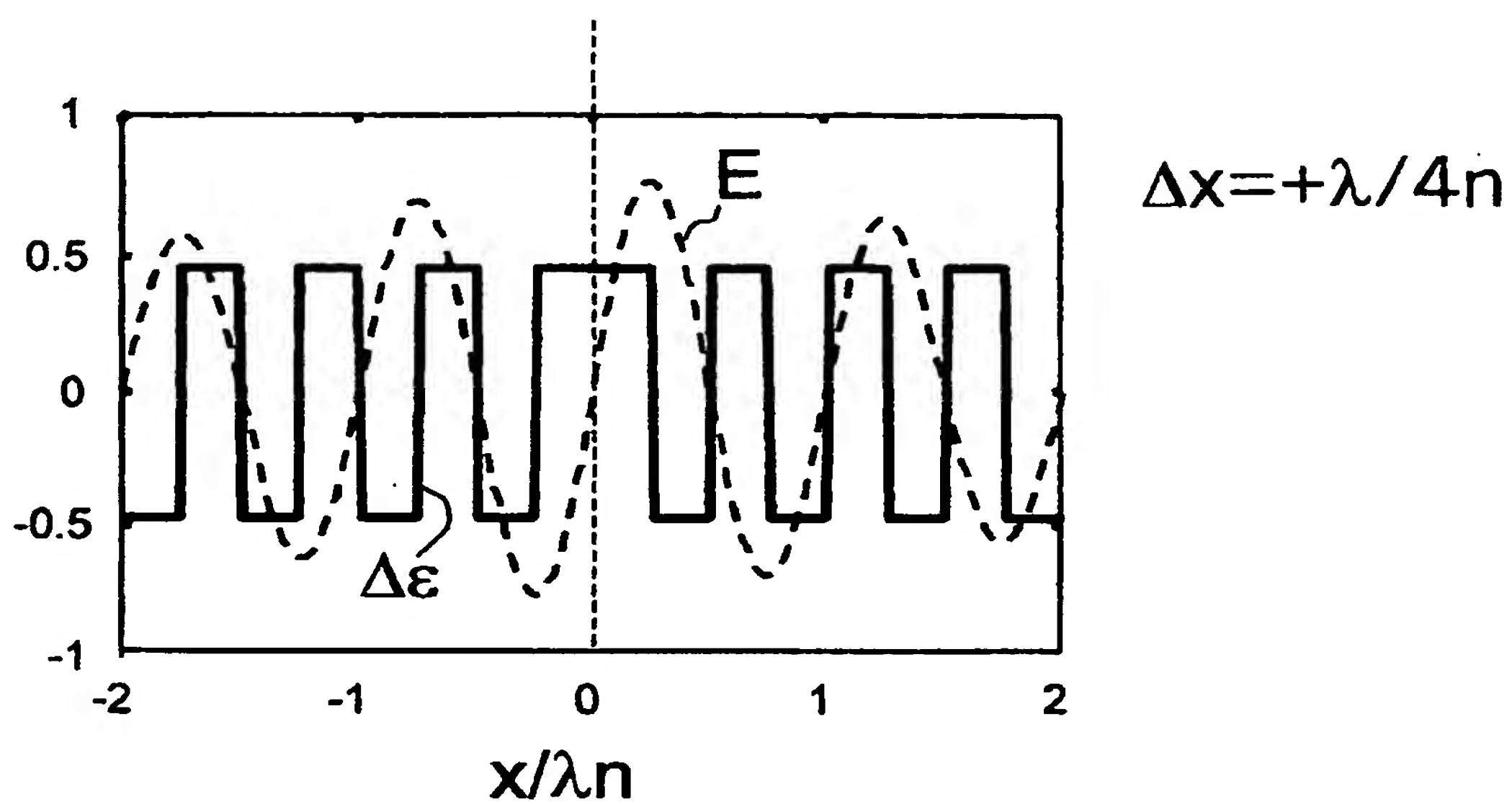


FIG.6

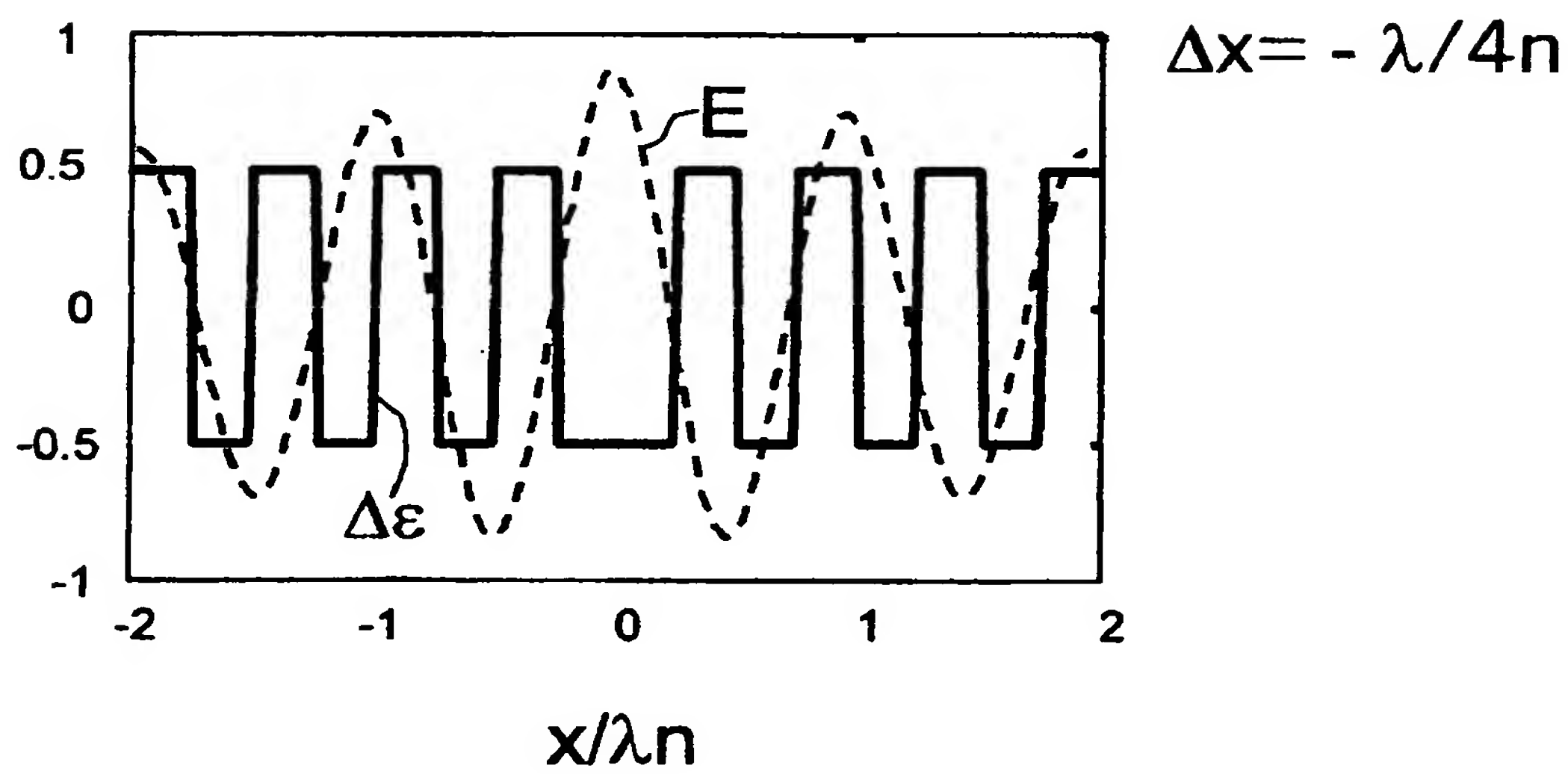


FIG.7

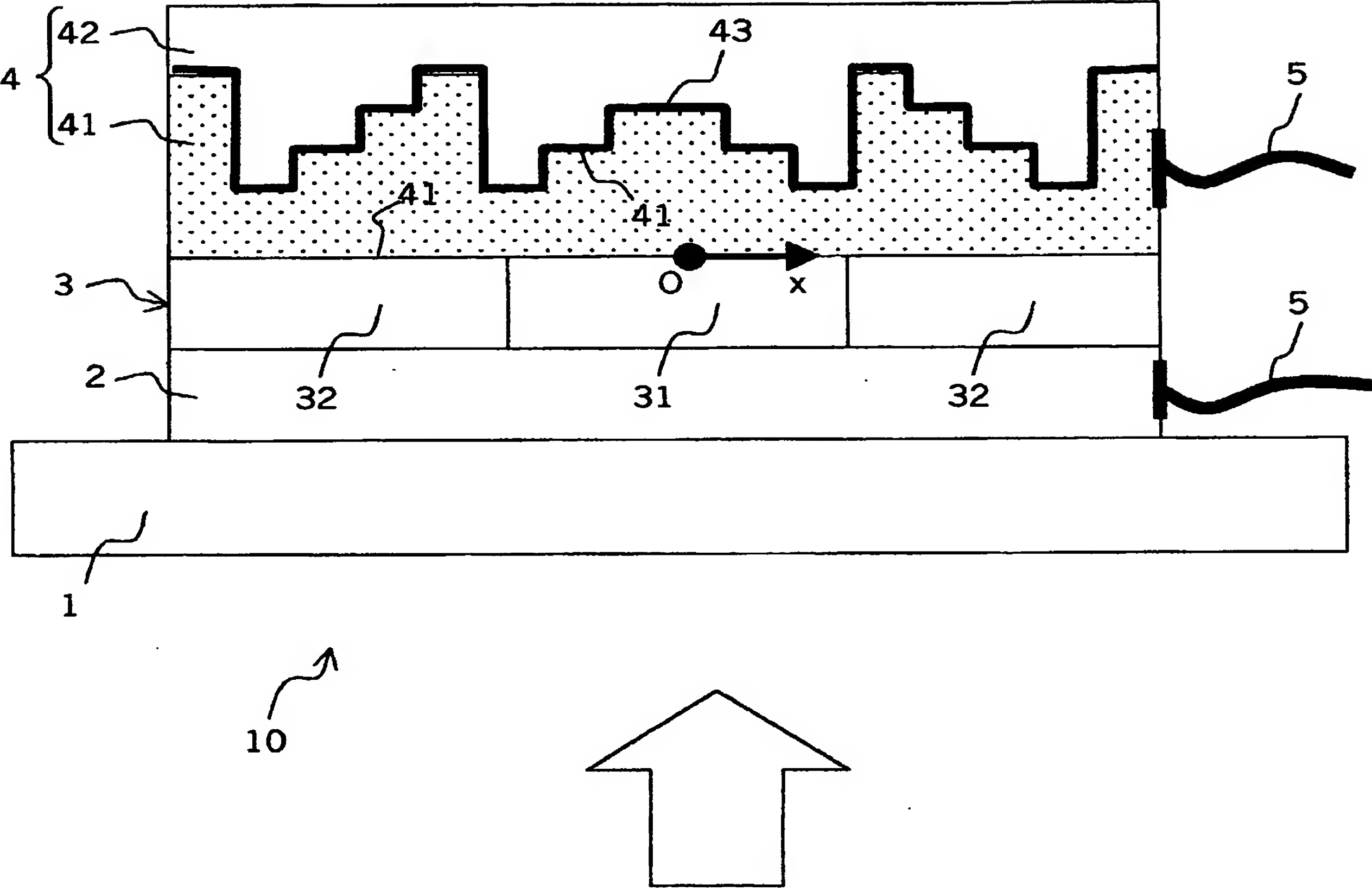


FIG.8

6/15

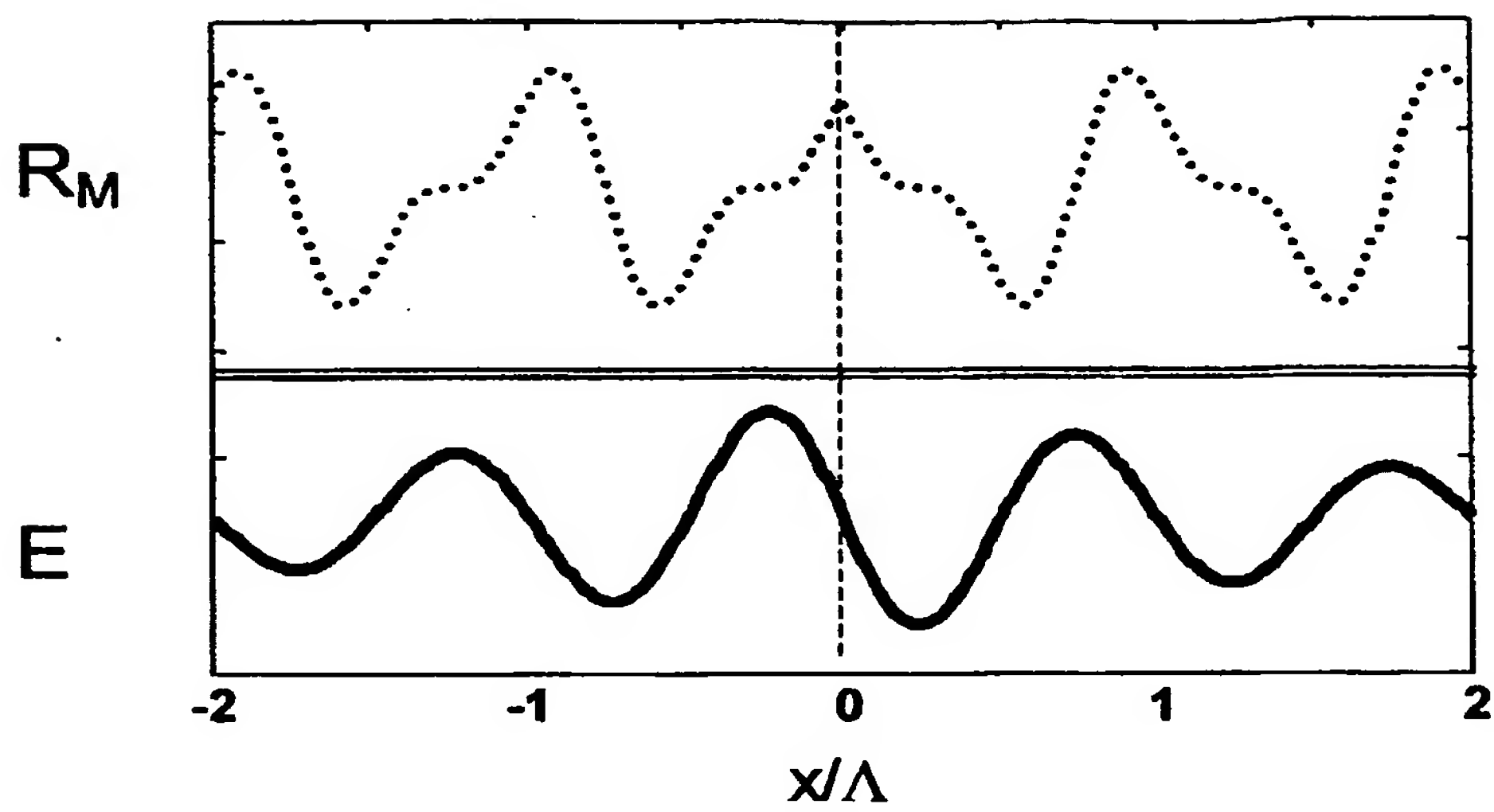


FIG.9

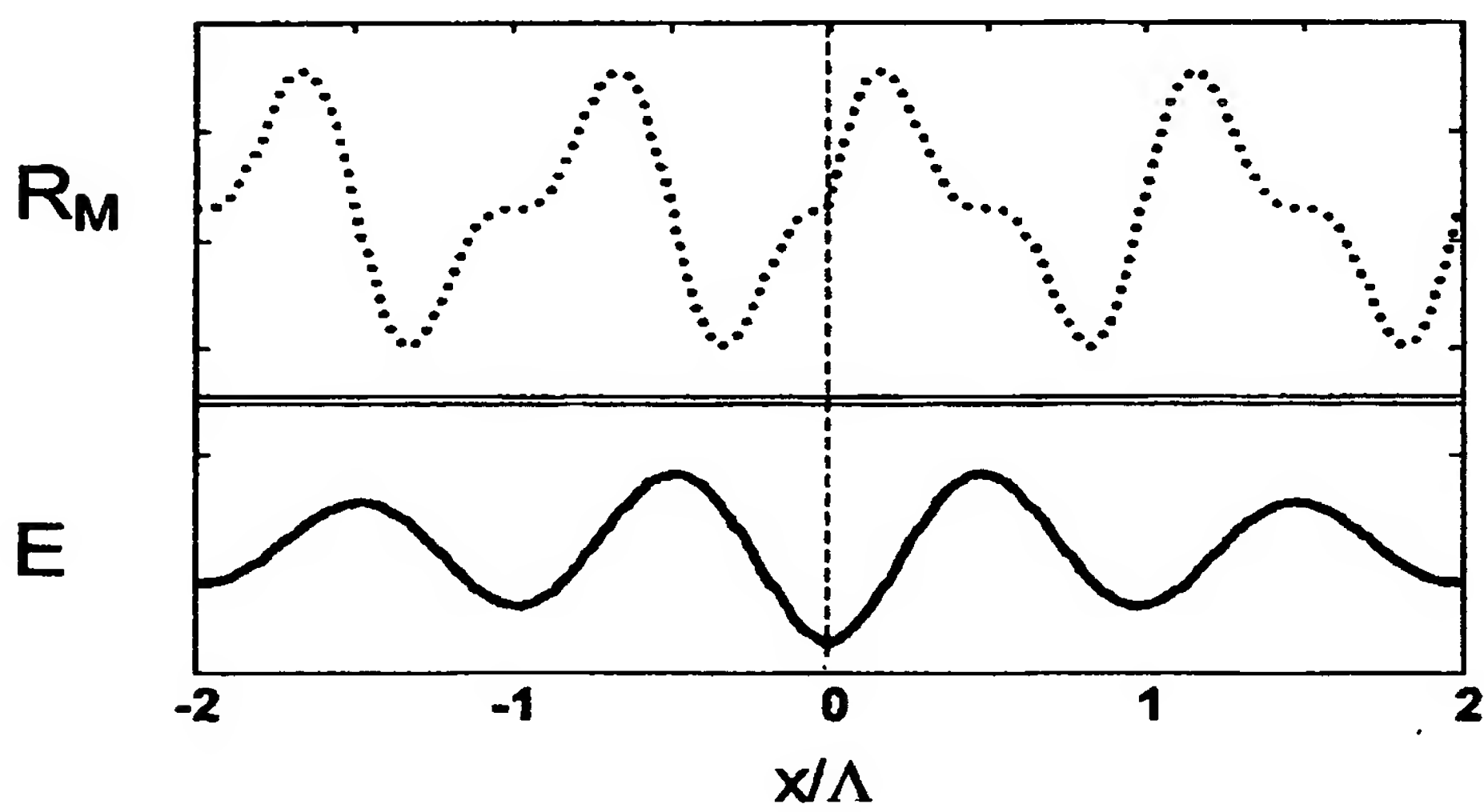


FIG.10

7/15

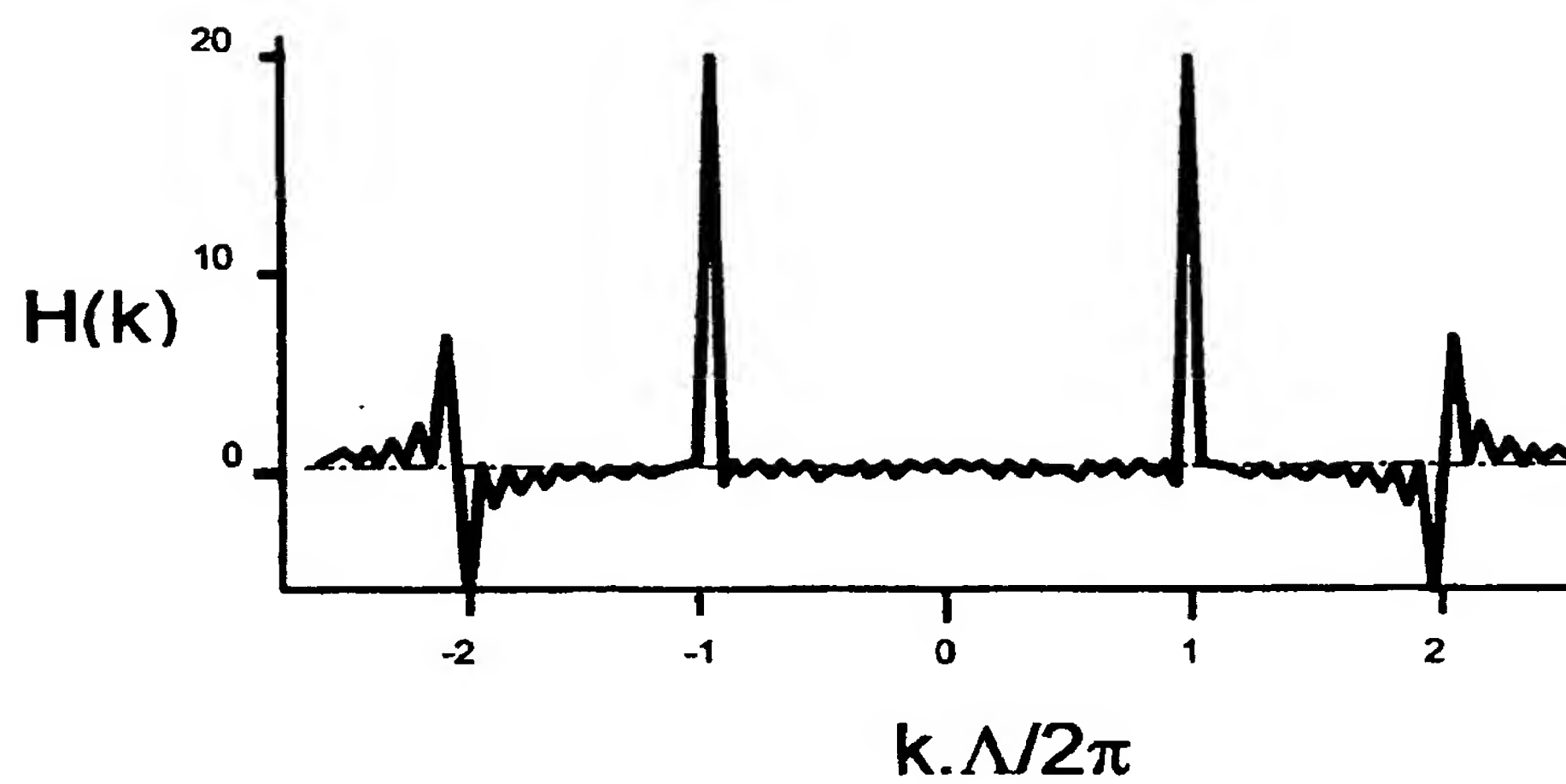


FIG.11

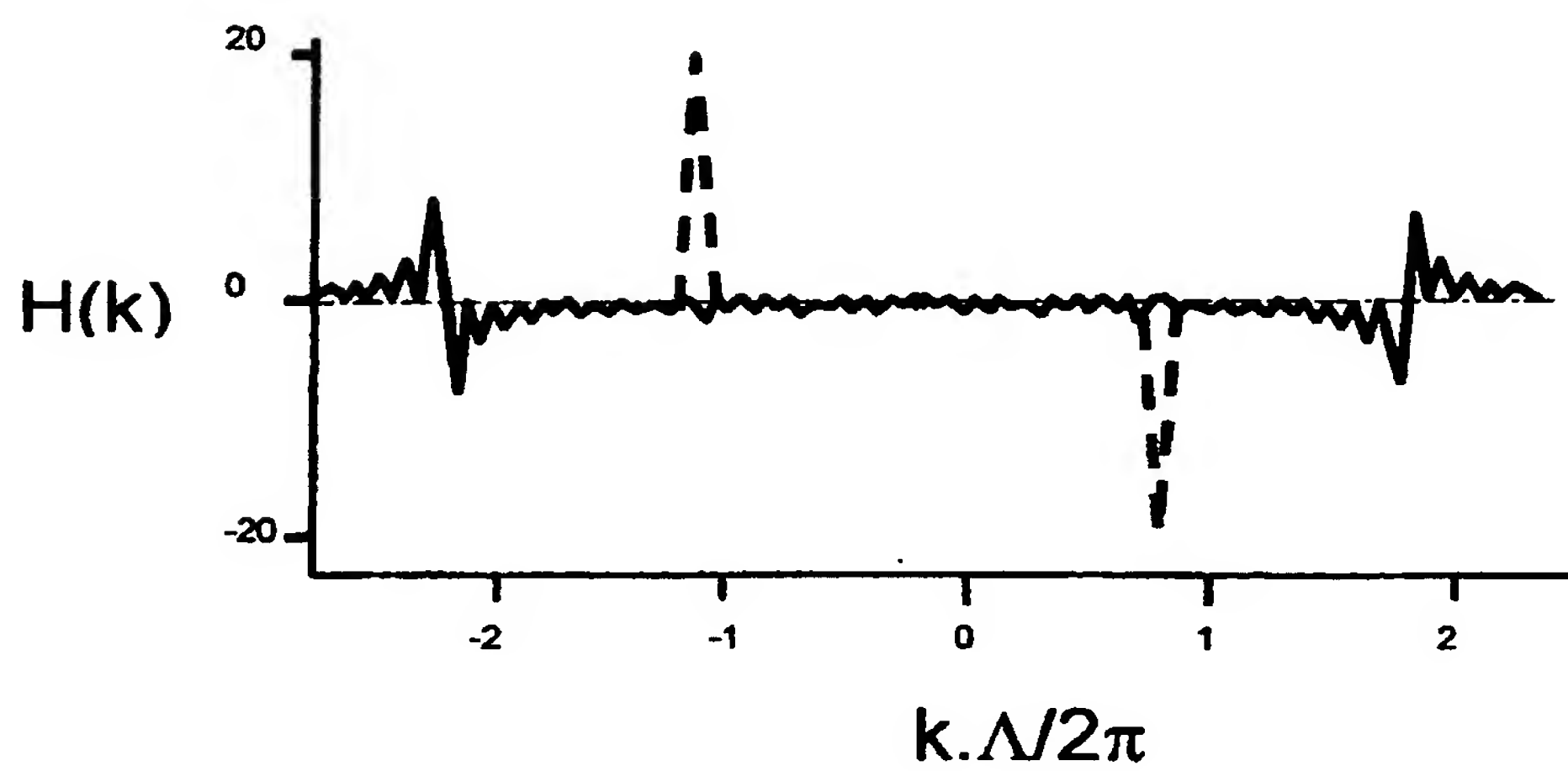


FIG.12

8/15

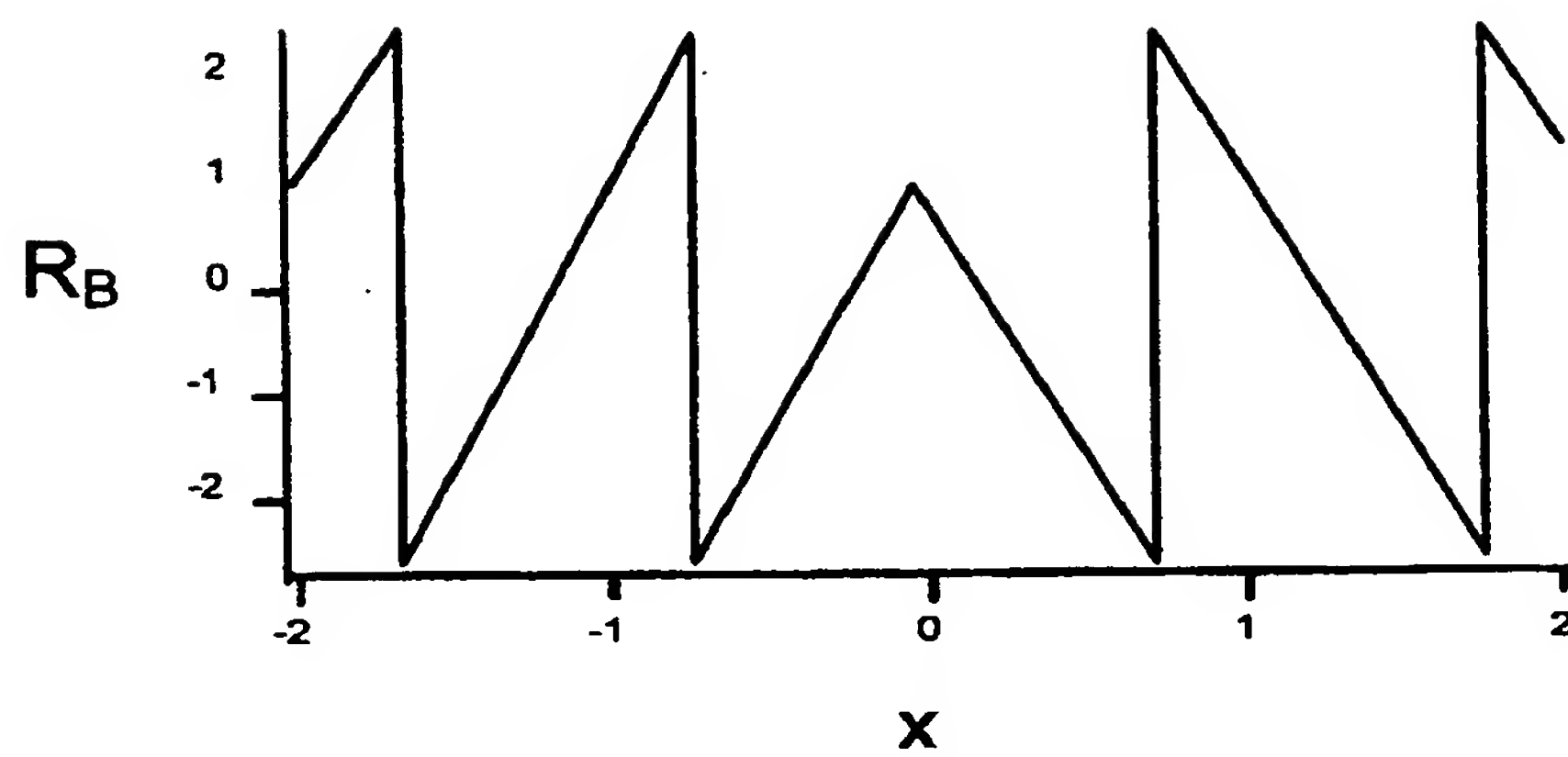


FIG.13

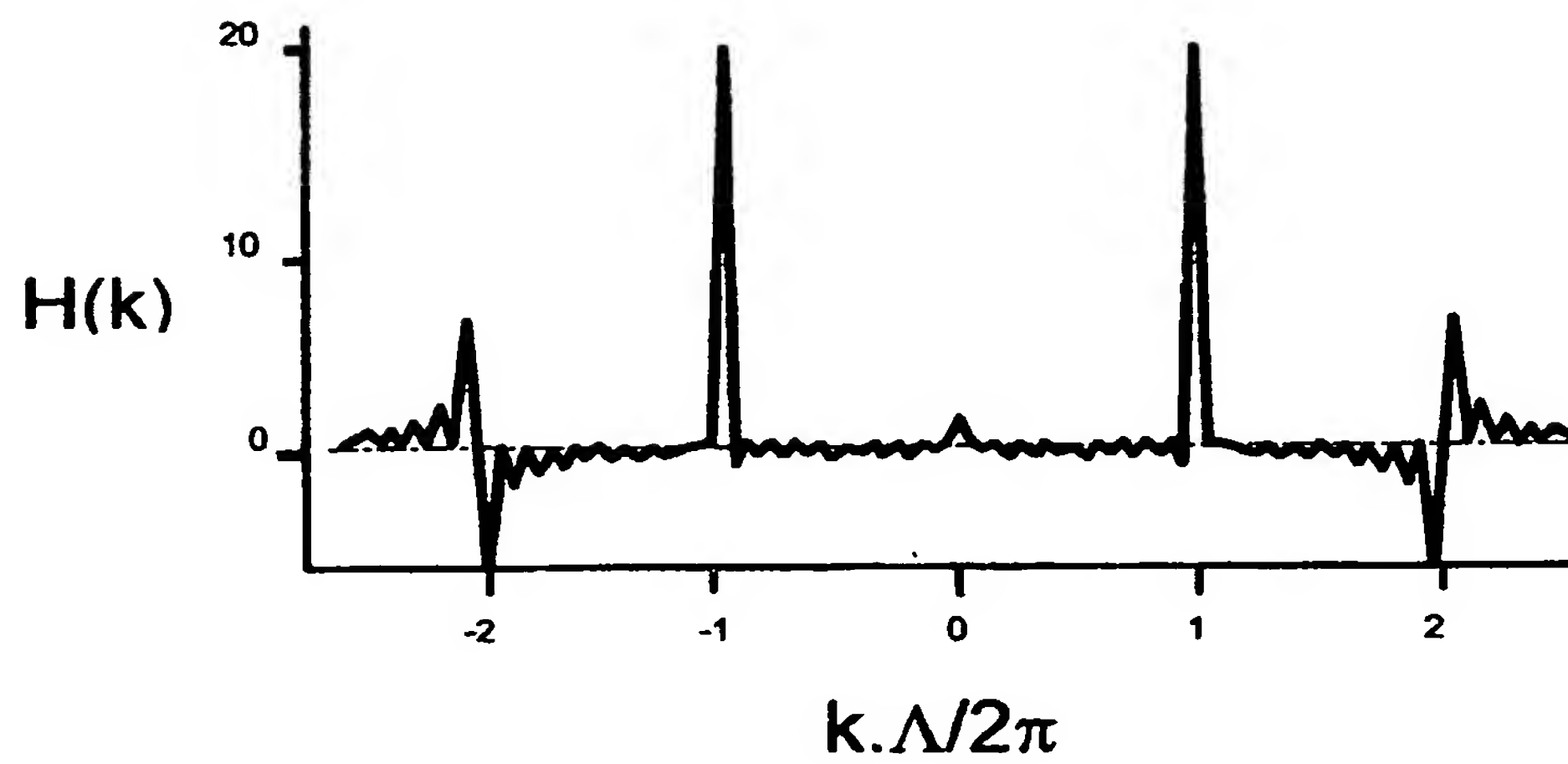


FIG.14

9/15

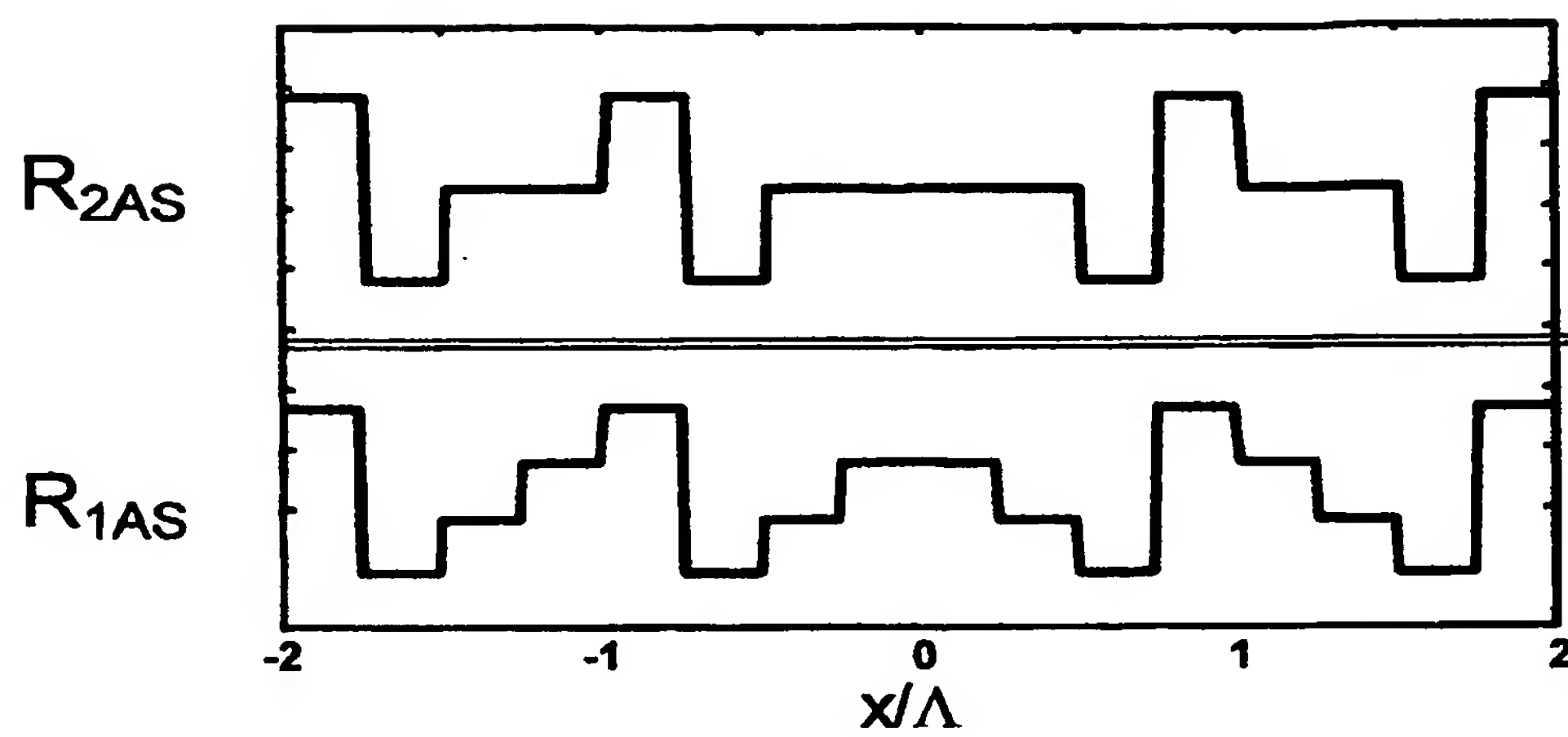


FIG. 15

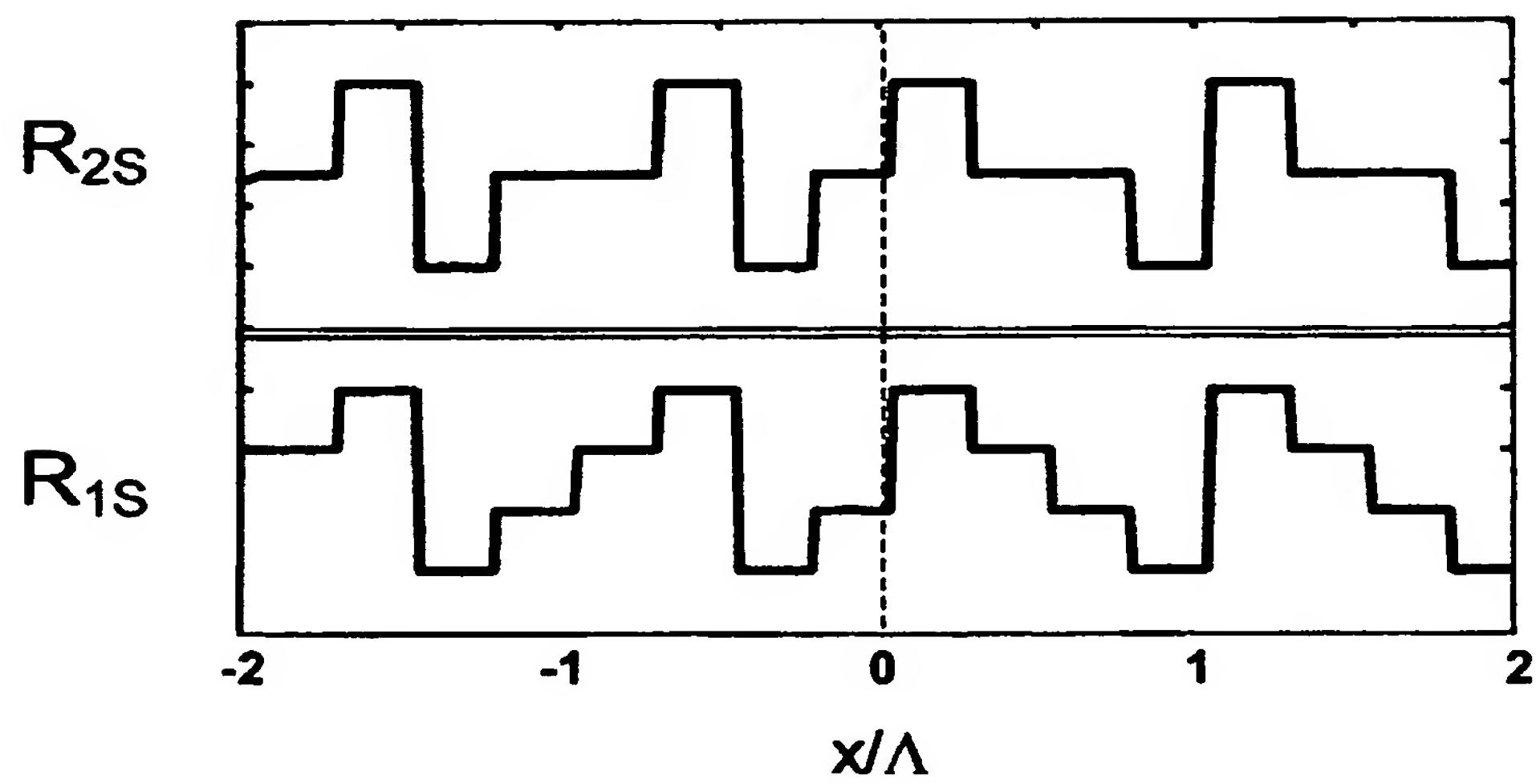


FIG. 16

10/15

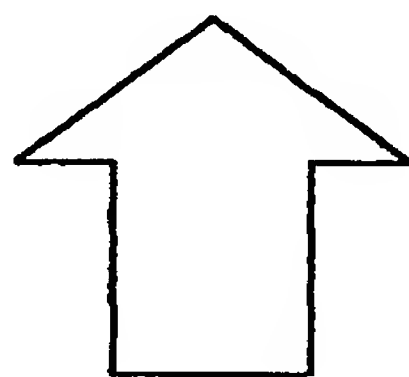
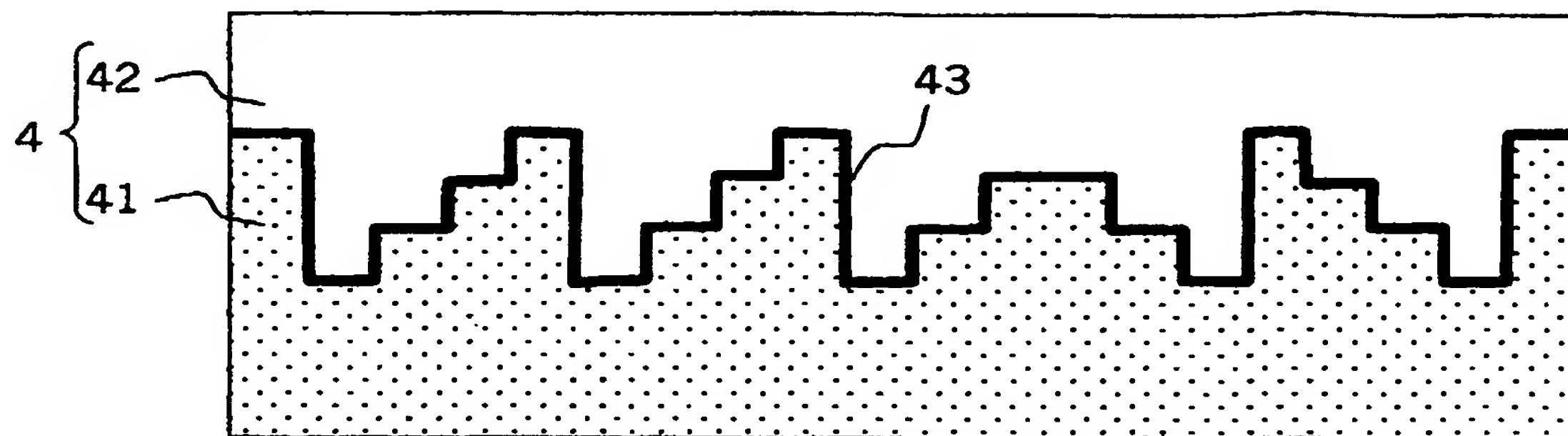


FIG.17

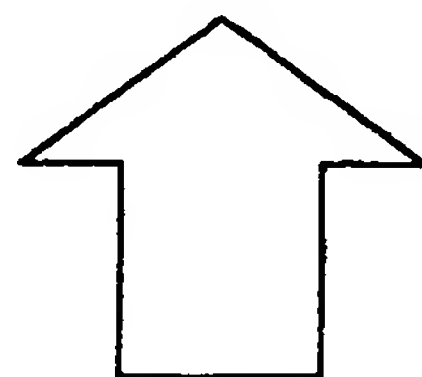
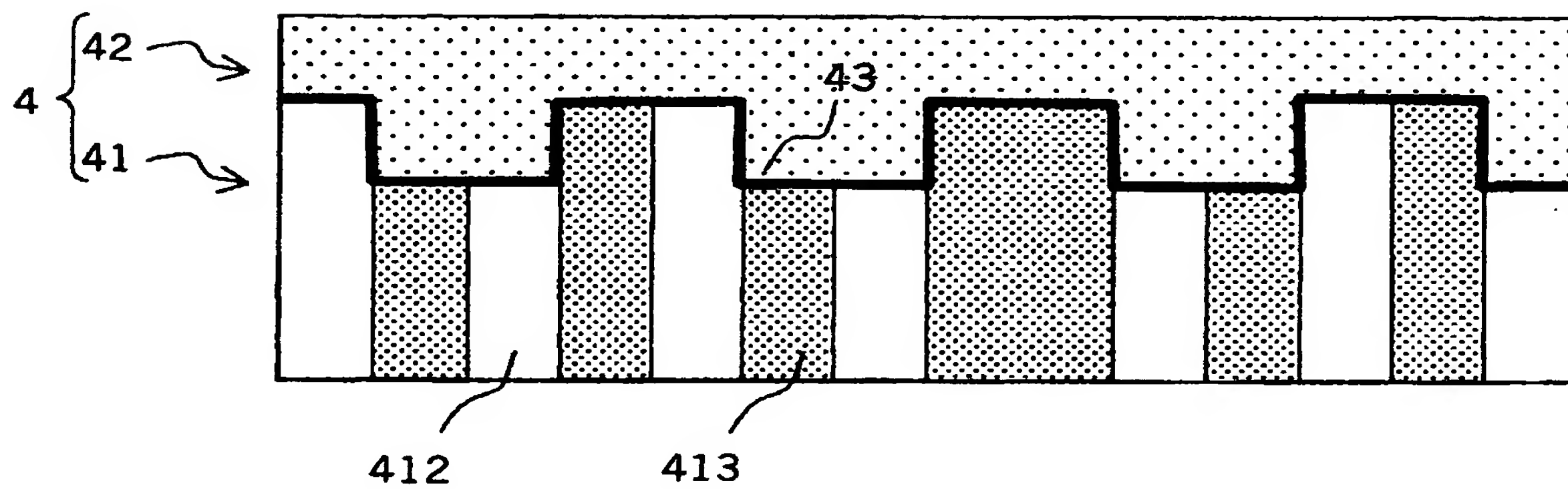


FIG.18

11/15

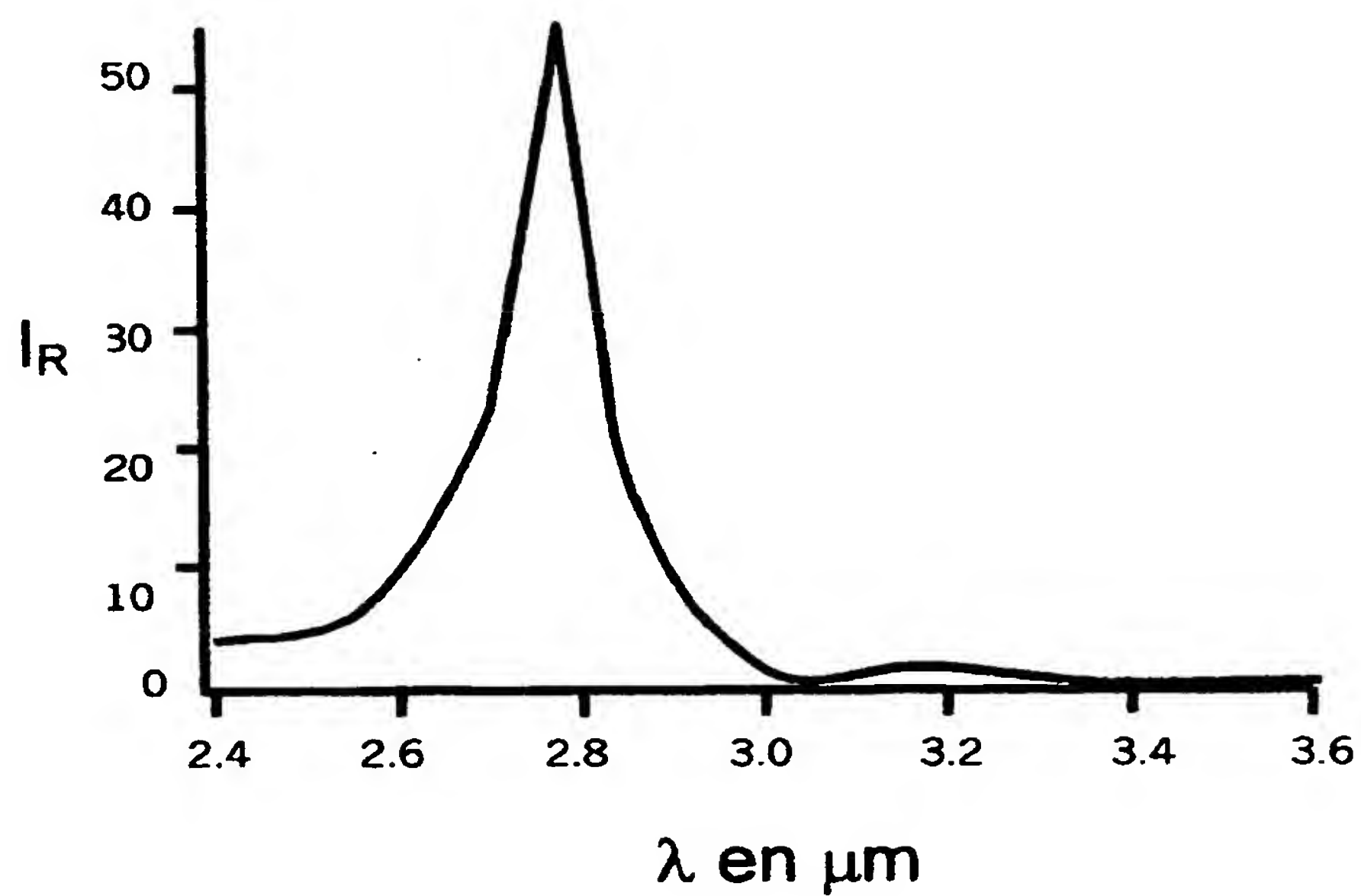


FIG.19

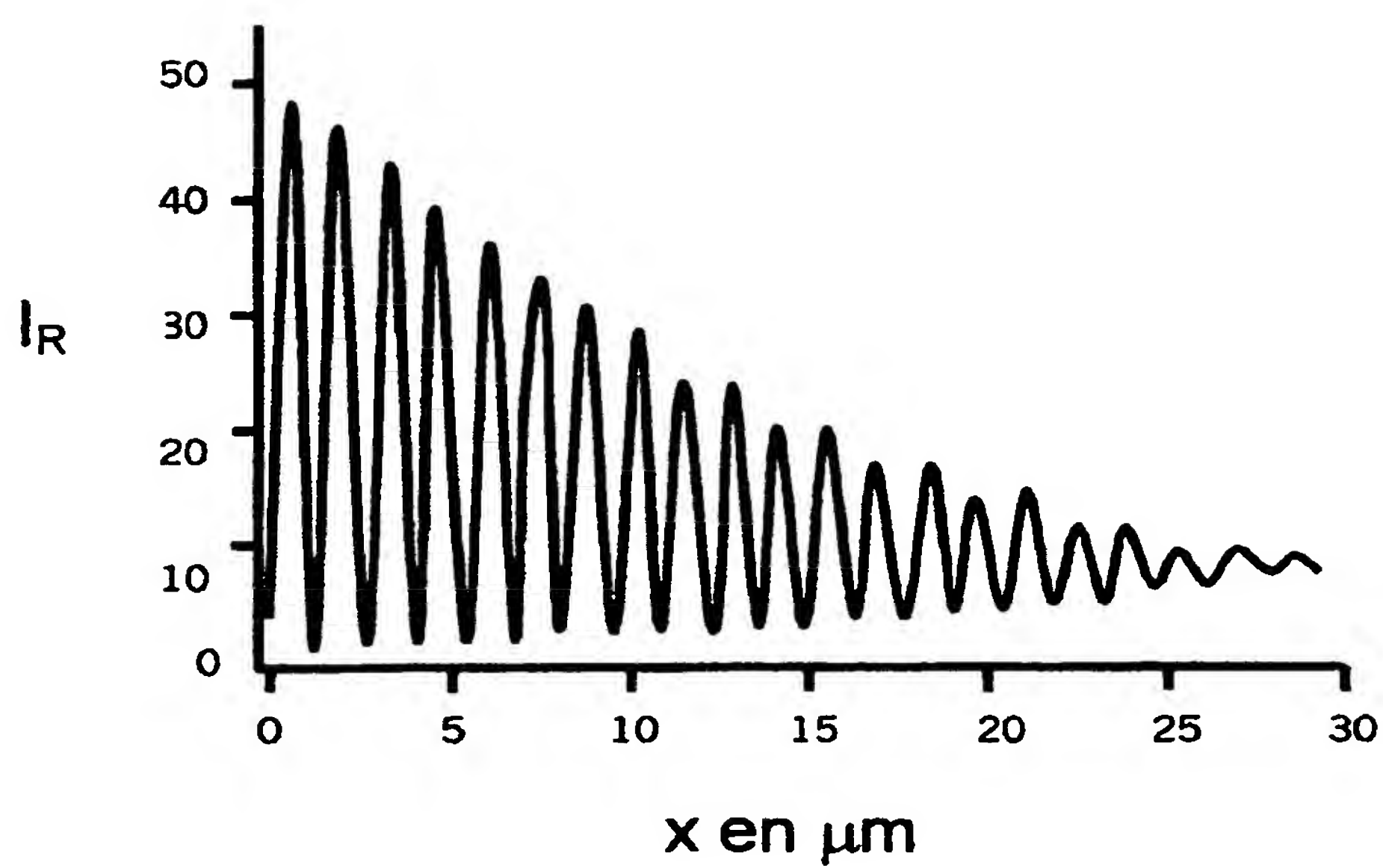


FIG.20

12/15

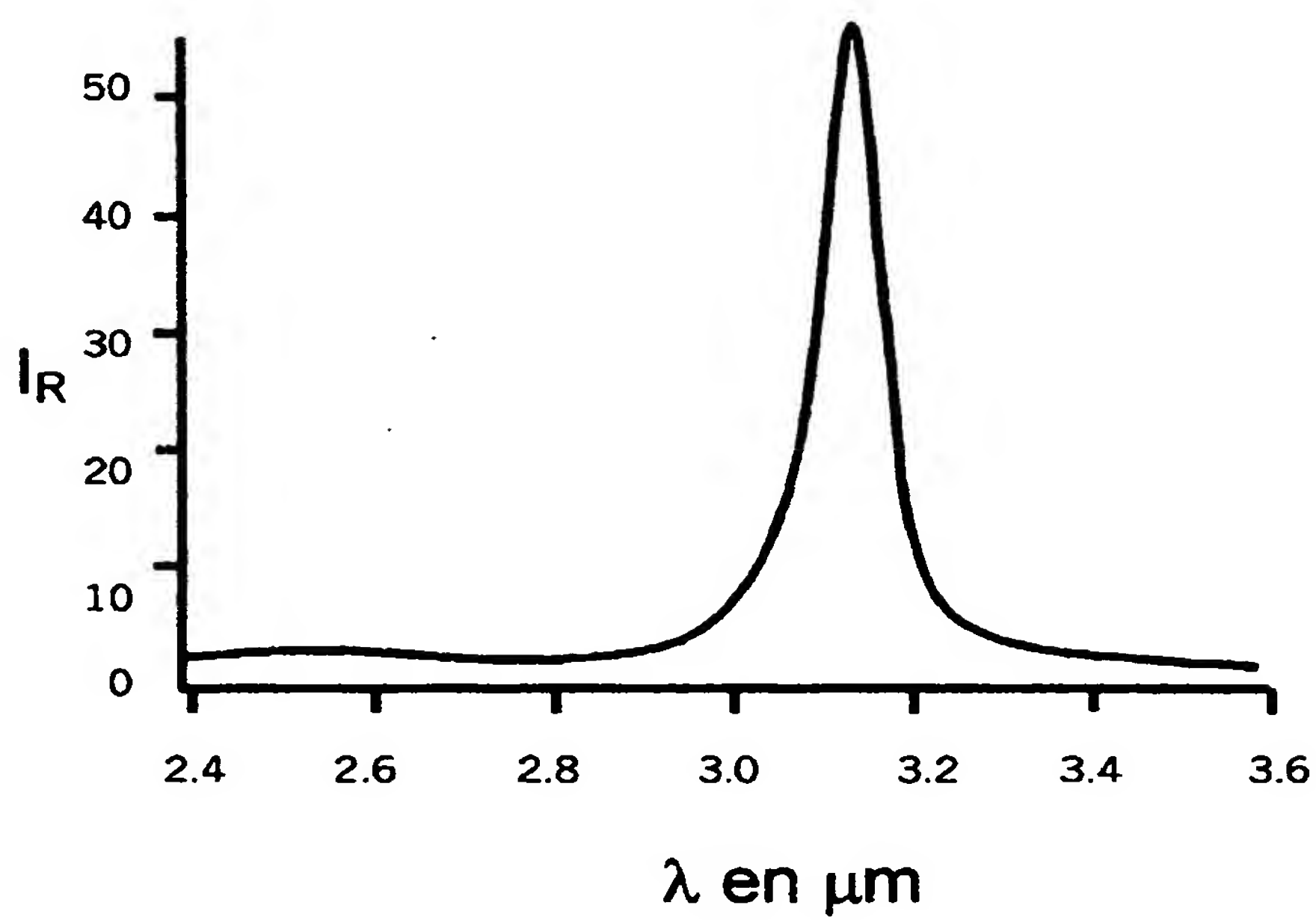


FIG.21

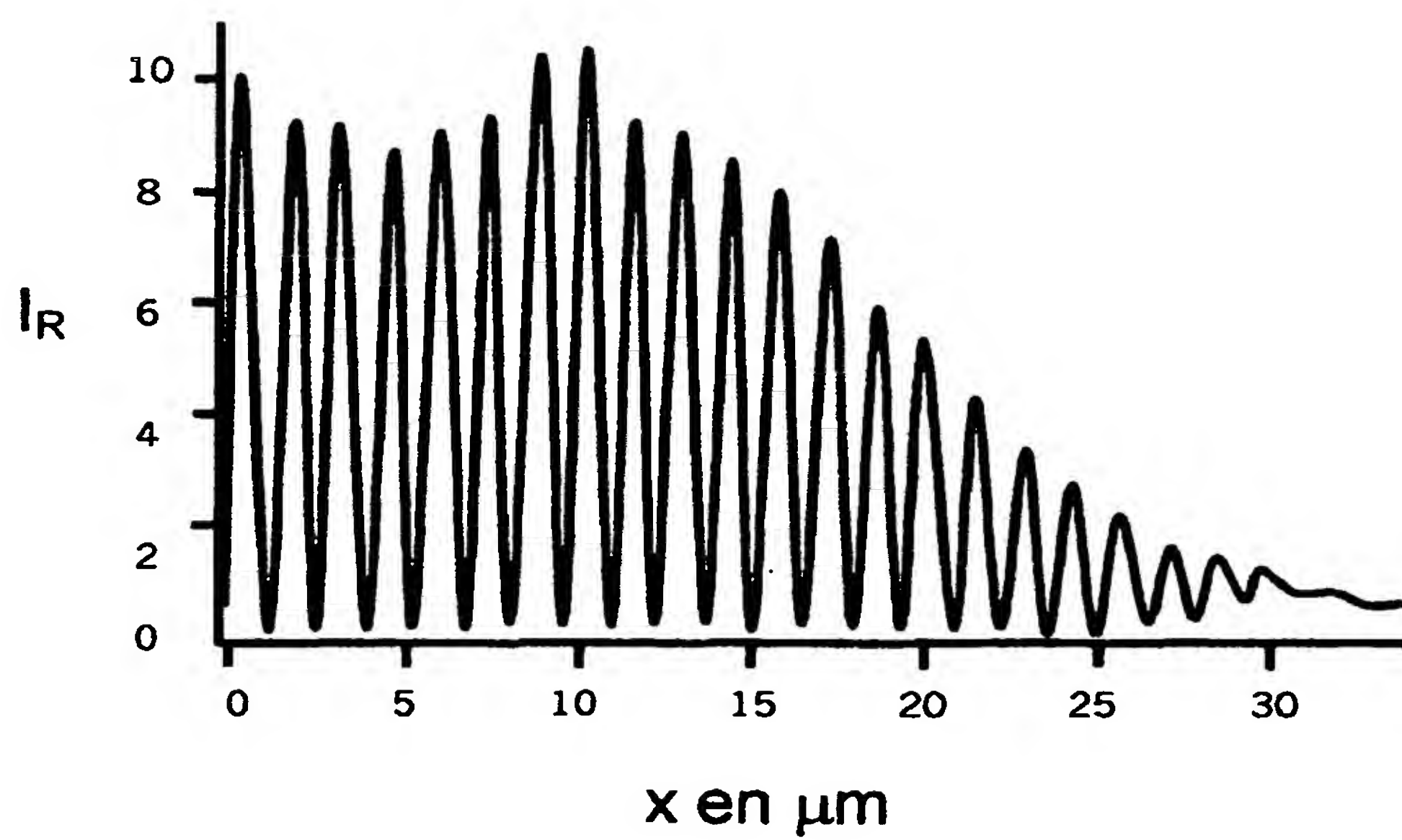


FIG.22

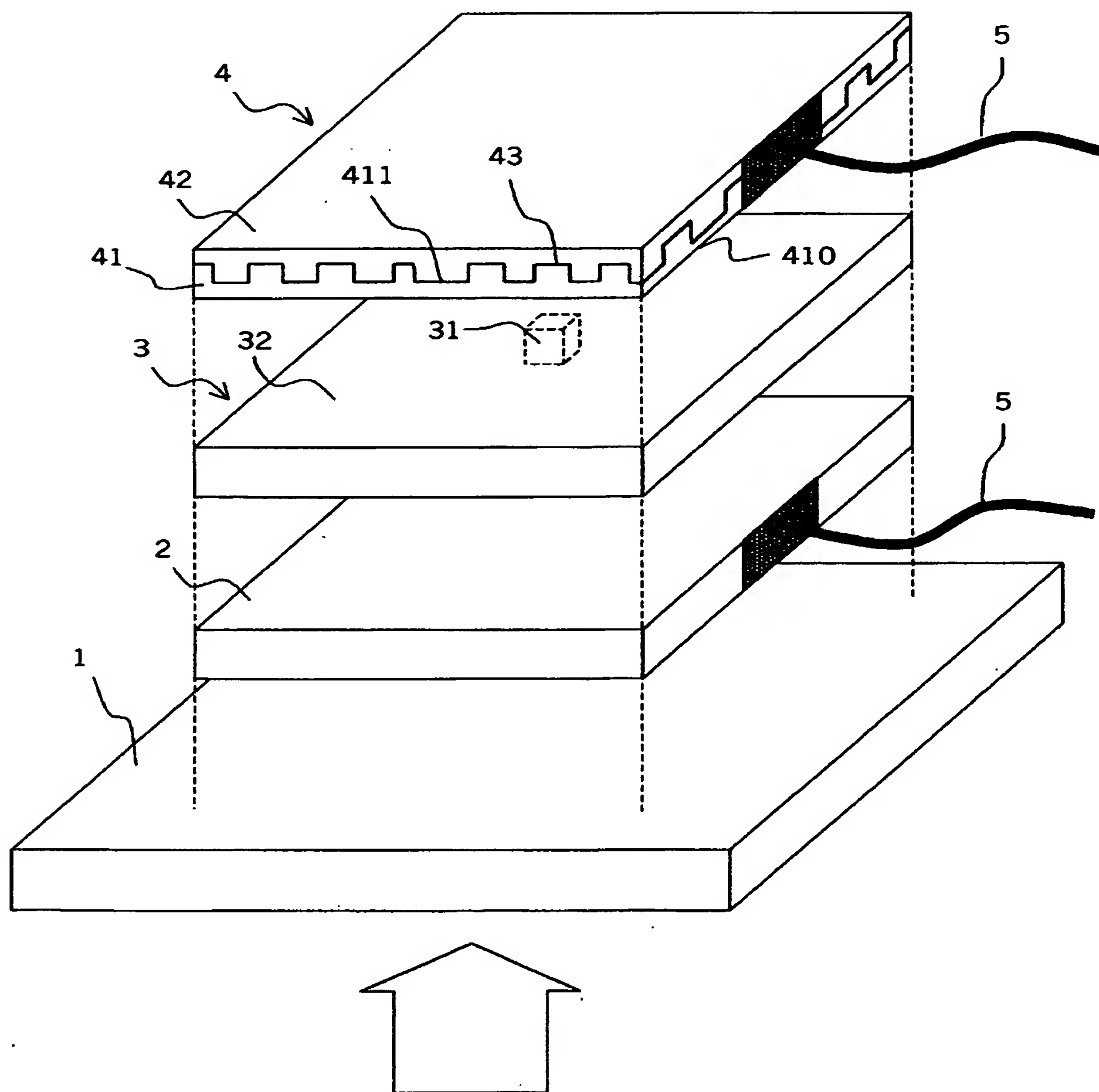


FIG.23

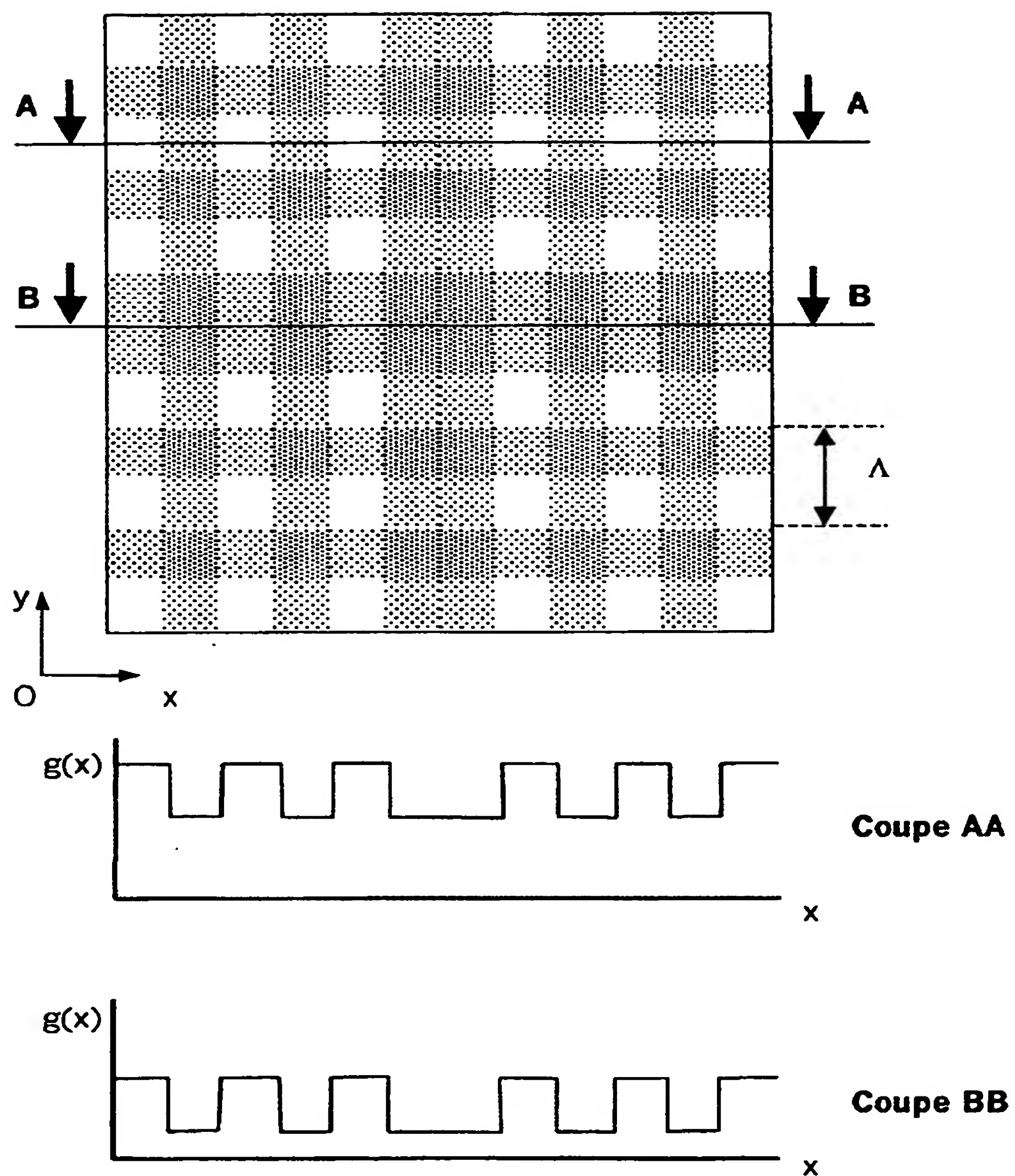


FIG.24

15/15

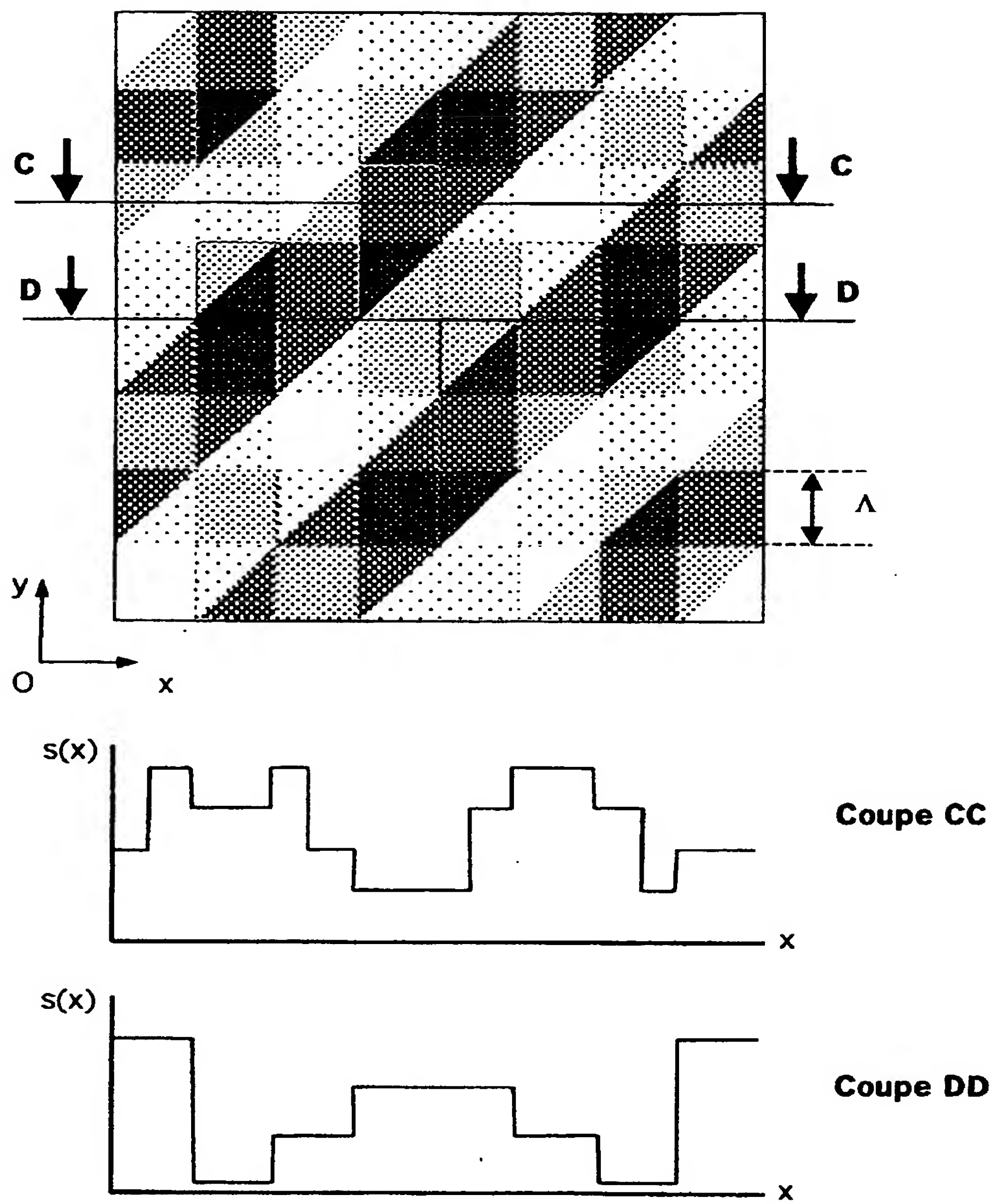


FIG.25

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP2004/053324

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 H01L31/0236 H01L31/0352

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, INSPEC, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DMITRUK N L ET AL: "Ultraviolet responsivity control in Schottky barrier heterostructures with textured interface" THIN SOLID FILMS, ELSEVIER-SEQUOIA S.A. LAUSANNE, CH, vol. 364, no. 1-2, March 2000 (2000-03), pages 280-283, XP004195111 ISSN: 0040-6090 the whole document	1
X	US 5 677 544 A (DUBOZ JEAN-YVES ET AL) 14 October 1997 (1997-10-14) the whole document	1,2,9, 10,14-17
A	US 5 969 375 A (MICHERON FRANCOIS ET AL) 19 October 1999 (1999-10-19) column 2, line 44 - column 3, line 38; claims 1,6; figures 3-5,10	1-4,9, 10,14

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *&* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

27 May 2005

Date of mailing of the international search report

06/06/2005

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Voignier, V

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP2004/053324

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5677544	A	14-10-1997	FR 2729789 A1 DE 4432031 A1 GB 2299890 A , B	26-07-1996 29-08-1996 16-10-1996
US 5969375	A	19-10-1999	FR 2757684 A1 CA 2222855 A1 EP 0849809 A1 IL 122539 A JP 10190021 A	26-06-1998 20-06-1998 24-06-1998 14-06-2001 21-07-1998

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Dem. No Internationale No

PCT/EP2004/053324

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
CIB 7 H01L31/0236 H01L31/0352

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 7 H01L

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal, WPI Data, INSPEC, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie °	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	DMITRUK N L ET AL: "Ultraviolet responsivity control in Schottky barrier heterostructures with textured interface" THIN SOLID FILMS, ELSEVIER-SEQUOIA S.A. LAUSANNE, CH, vol. 364, no. 1-2, mars 2000 (2000-03), pages 280-283, XP004195111 ISSN: 0040-6090 le document en entier	1
X	US 5 677 544 A (DUBOZ JEAN-YVES ET AL) 14 octobre 1997 (1997-10-14) le document en entier	1,2,9, 10,14-17
A	US 5 969 375 A (MICHERON FRANCOIS ET AL) 19 octobre 1999 (1999-10-19) colonne 2, ligne 44 - colonne 3, ligne 38; revendications 1,6; figures 3-5,10	1-4,9, 10,14

☐ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

° Catégories spéciales de documents cités:

- *A* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- *E* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- *L* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- *O* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- *P* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

- *T* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
- *X* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- *Y* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- *&* document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

27 mai 2005

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

06/06/2005

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Voignier, V

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Dem. de Internationale No

PCT/EP2004/053324

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 5677544	A	14-10-1997	FR 2729789 A1	26-07-1996
			DE 4432031 A1	29-08-1996
			GB 2299890 A , B	16-10-1996

US 5969375	A	19-10-1999	FR 2757684 A1	26-06-1998
			CA 2222855 A1	20-06-1998
			EP 0849809 A1	24-06-1998
			IL 122539 A	14-06-2001
			JP 10190021 A	21-07-1998

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ **BLACK BORDERS**

☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☒ **FADED TEXT OR DRAWING**

☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**

☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.